

10.613.238
11.14.2003

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 juillet 2001 (12.07.2001)

PCT

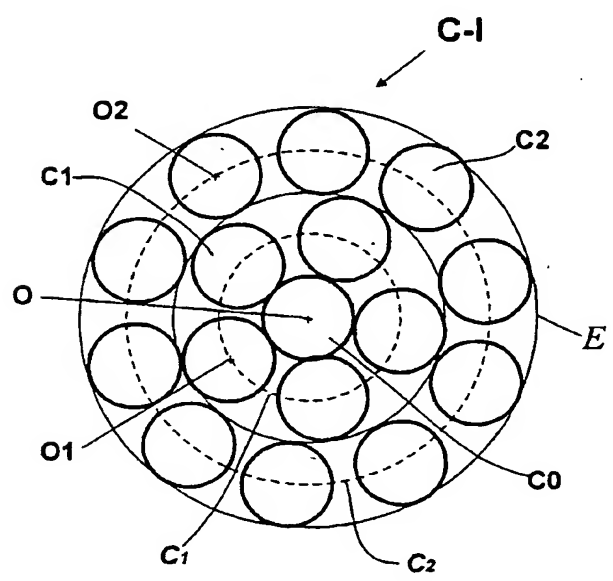
(10) Numéro de publication internationale
WO 01/49926 A1

- (51) Classification internationale des brevets: D07B 1/06 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf CA, MX, US): SOCIÉTÉ DE TECHNOLOGIE MICHELIN [FR/FR]; 23, rue Breschet, F-63000 Clermont-Ferrand Cedex (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale: PCT/EP00/13290 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A. [CH/CH]; 10-12, route Louis Braille, CH-1763 Granges-Paccot (CH).
- (22) Date de dépôt international: 27 décembre 2000 (27.12.2000)
- (25) Langue de dépôt: français (72) Inventeurs; et
- (26) Langue de publication: français (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): CORDONNIER, François-Jacques [FR/FR]; 53, rue de Durtol, F-63100 Clermont-Ferrand (FR). DOMINGO, Alain [FR/FR]; 6, route de la Croix-Mozat, F-63190 Orleat (FR).
- (30) Données relatives à la priorité: 99/16842 30 décembre 1999 (30.12.1999) FR

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MULTILAYER STEEL CABLE FOR A TIRE CARCASS

(54) Titre: CÂBLE D'ACIER MULTICOUCHE POUR CARCASSE DE PNEUMATIQUE



(57) Abstract: The invention relates to a multilayer cable with an unsaturated outer layer for use as an element for reinforcing the frame of a tire carcass, comprising a core which has a diameter d_0 and which is surrounded by an intermediate layer (C1). Said intermediate layer consists of 4 or 5 wires ($M = 4$ or 5) which have a diameter d_1 and which are wound together in a spiral according to a lay p_1 . Said layer (C1) is itself surrounded by an outer layer (C2) consisting of N wires which have a diameter d_2 and which are wound together in a spiral according to a lay p_2 , N being less than the maximum number N_{max} of wires that can be wound around the layer (C1) in a spiral by 1 to 3. The cable has the following characteristics (d_0, d_1, d_2, p_1 and p_2 in mm): (i) $0,08 < d_0 < 0,28$; (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$; (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$; (iv) for $M = 4$: $0,40 < (d_0/d_1) < 0,80$; for $M = 5$: $0,70 < (d_0/d_1) < 1,10$; (v) $4,8\pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6\pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$; (vi) the wires of layers (C1) and (C2) being wound in the same direction of twist. The invention also relates to plastic and/or rubber items or semi-finished products which are reinforced by a multilayer cable of this type, especially tires for industrial vehicles, especially heavy vehicles tires and their carcass belts.

(57) Abrégé: Câble multicouche à couche externe insaturée, utilisable comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatique, comportant une âme de diamètre d_0 entourée d'une couche intermédiaire (notée C1) de quatre ou cinq fils ($M=4$ ou 5) de diamètre d_1 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_1 , cette couche C1 étant elle-même entourée d'une couche externe (notée C2) de N fils de diamètre d_2 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_2 , N étant inférieur de 1 à 3 au nombre maximal N_{max} de fils enroulables en une couche autour de la couche C1, ce câble présentant les caractéristiques suivantes (d_0, d_1, d_2, p_1 et p_2 en mm): (i) $0,08 < d_0 < 0,28$; (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$; (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$; (iv) pour $M=4$: $0,40 < (d_0/d_1) < 0,80$; pour $M=5$: $0,70 < (d_0/d_1) < 1,10$;

[Suite sur la page suivante]

WO 01/49926 A1



BARGUET, Henri [FR/FR]; 2, impasse du Meunier, F-63430 Les Martres-d'Artière (FR). VO, Le, Tu, Anh [FR/FR]; Appartement 18a, 11, rue des 4-Passeports, F-63000 Clermont-Ferrand (FR).

(74) Mandataire: RIBIERE, Joël; Michelin & Cie, Service SGD/LG/PI-LAD, F-63040 Clermont-Ferrand Cedex 09 (FR).

(81) États désignés (national): AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) États désignés (régional): brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- Avec rapport de recherche internationale.
- Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues.

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(v) $4,8 < (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$; (vi) les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion. L'invention concerne en outre les articles ou produits semi-finis en matière plastique et/ou en caoutchouc renforcés par un tel câble multicouches, notamment les pneumatiques destinés aux véhicules industriels, plus particulièrement les pneumatiques Poids-lourds et leurs nappes d'armature de carcasse.

CABLE D'ACIER MULTICOUCHES POUR CARCASSE DE PNEUMATIQUE

5 La présente invention est relative aux câbles d'acier ("*steel cords*") utilisables pour le renforcement d'articles en caoutchouc tels que des pneumatiques. Elle se rapporte plus particulièrement aux câbles dits "à couches" utilisables pour le renforcement de l'armature de carcasse de pneumatiques de véhicules industriels tels que des pneumatiques Poids-lourd.

10 Les câbles d'acier pour pneumatiques sont en règle générale constitués de fils en acier perlitique (ou ferrito-perlitique) au carbone, désigné ci-après "acier au carbone", dont la teneur en carbone est généralement comprise entre 0,2% et 1,2%, le diamètre de ces fils étant le plus souvent compris entre environ 0,10 et 0,40 mm (millimètre). On exige de ces fils une très haute résistance à la traction, en général supérieure à 2000 MPa, de préférence supérieure à
15 2500 MPa, obtenue grâce au durcissement structural intervenant lors de la phase d'écrouissage des fils. Ces fils sont ensuite assemblés sous forme de câbles ou torons, ce qui nécessite des aciers utilisés qu'ils aient aussi une ductilité en torsion suffisante pour supporter les diverses opérations de câblage.

20 Pour le renforcement des armatures de carcasse de pneumatiques Poids-lourd, on utilise le plus souvent aujourd'hui des câbles d'acier dits "à couches" ("*layered cords*") ou "multicouches" constitués d'une âme centrale et d'une ou plusieurs couches de fils concentriques disposées autour de cette âme. Ces câbles à couches, qui privilégient des longueurs de contact plus importantes entre les fils, sont préférés aux câbles plus anciens dits
25 "à torons" ("*strand cords*") en raison d'une part d'une plus grande compacité, d'autre part d'une sensibilité moindre à l'usure par fretting. Parmi les câbles à couches, on distingue notamment, de manière connue, les câbles à structure compacte et les câbles à couches tubulaires ou cylindriques.

30 Les câbles à couches les plus répandus dans les carcasses de pneumatiques Poids-lourd sont des câbles de formule (L+M) ou (L+M+N), les derniers étant généralement destinés aux plus gros pneumatiques. Ces câbles sont formés de manière connue d'une âme de L fil(s) entourée d'au moins une couche de M fils éventuellement elle-même entourée d'une couche externe de N fils, avec en général L variant de 1 à 4, M variant de 3 à 12, N variant de 8 à 20 le cas
35 échéant, l'ensemble pouvant être éventuellement fretté par un fil de frette externe enroulé en hélice autour de la dernière couche.

De tels câbles à couches utilisables pour le renforcement d'armatures de carcasse de pneumatiques radiaux, notamment de pneumatiques Poids-lourd, ont été décrits dans un très grand nombre de publications. On se reportera notamment aux documents US-A-3 922 841 ;
40 US-A-4 158 946 ; US-A-4 488 587 ; EP-A-0 168 858 ; EP-A-0 176 139 ou US-A-4 651 513 ; EP-A-0 194 011 ; EP-A-0 260 556 ou US-A-4 756 151 ; EP-A-0 362 570 ; EP-A-0 497 612 ou US-A-5 285 836 ; EP-A-0 568 271 ; EP-A-0 648 891 ; EP-A-0 669 421 ou US-A-5 595 057 ; EP-A-0 675 223 ; EP-A-0 709 236 ou US-A-5 836 145 ; EP-A-0 719 889 ou US-A-5
45 697 204 ; EP-A-0 744 490 ou US-A-5 806 296 ou US-A-5 822 973 ; EP-A-0 779 390 ou US-

A-5 802 829 ; EP-A-0 834 613 ou US-A-6 102 095; WO98/41682 ; RD (Research Disclosure) N°34054, août 1992, pp. 624-33 ; RD N°34370, novembre 1992, pp. 857-59.

- 5 Pour remplir leur fonction de renforcement des d'armatures de carcasse de pneumatiques radiaux, les câbles à couches doivent tout d'abord présenter une bonne flexibilité et une endurance élevée en flexion, ce qui implique notamment que leurs fils présentent un diamètre relativement faible, normalement inférieur à 0,28 mm, plus petit en particulier que celui des fils utilisés dans les câbles conventionnels pour les armatures de sommet des pneumatiques.
- 10 Ces câbles à couches sont d'autre part soumis à des contraintes importantes lors du roulage des pneumatiques, notamment à des flexions ou variations de courbure répétées induisant au niveau des fils des frottements, notamment par suite des contacts entre couches adjacentes, et donc de l'usure, ainsi que de la fatigue ; ils doivent donc présenter une haute résistance aux phénomènes dits de "fatigue-fretting".
- 15 Il est important enfin qu'ils soient imprégnés autant que possible par le caoutchouc, que cette matière pénètre dans tous les espaces entre les fils constituant les câbles. En effet, si cette pénétration est insuffisante, il se forme alors des canaux vides, le long des câbles, et les agents corrosifs, par exemple l'eau, susceptibles de pénétrer dans les pneumatiques par exemple à la
- 20 suite de coupures, cheminent le long de ces canaux jusque dans l'armature de carcasse du pneumatique. La présence de cette humidité joue un rôle important en provoquant de la corrosion et en accélérant les processus de dégradation ci-dessus (phénomènes dits de "fatigue-corrosion"), par rapport à une utilisation en atmosphère sèche.
- 25 Tous ces phénomènes de fatigue que l'on regroupe généralement sous le terme générique de "fatigue-fretting-corrosion" sont à l'origine d'une dégénérescence progressive des propriétés mécaniques des câbles et peuvent affecter, pour les conditions de roulage les plus sévères, la durée de vie de ces derniers.
- 30 Afin d'améliorer l'endurance des câbles à couches dans les armatures de carcasse de pneumatiques Poids-lourd, où de manière connue les sollicitations en flexion répétée peuvent être particulièrement sévères, on a proposé depuis longtemps de modifier leur construction afin d'augmenter notamment leur pénétrabilité par le caoutchouc, et ainsi limiter les risques dus à la corrosion et à la fatigue-corrosion.
- 35 Ont été par exemple proposés ou décrits des câbles à couches de construction (3+9) ou (3+9+15) constitués d'une âme de 3 fils entourée d'une première couche de 9 fils et le cas échéant d'une seconde couche de 15 fils, comme décrit par exemple dans EP-A-0 168 858, EP-A-0 176 139, EP-A-0 497 612, EP-A-0 669 421, EP-A-0 709 236, EP-A-0 744 490, EP-A-
- 40 0 779 390, le diamètre des fils de l'âme étant ou non différent de celui des fils des autres couches. Ces câbles ne sont pas pénétrables jusqu'à coeur à cause de la présence d'un canal ou capillaire au centre des trois fils d'âme, qui reste vide après imprégnation par le caoutchouc, et donc propice à la propagation de milieux corrosifs tels que l'eau.
- 45 La publication RD N°34370 décrit par exemple des câbles de structure [1+6+12], du type compacts ou du type à couches tubulaires concentriques, constitués d'une âme formée d'un

seul fil, entourée d'une couche intermédiaire de 6 fils elle-même entourée d'une couche externe de 12 fils. La pénétrabilité par le caoutchouc peut être améliorée en utilisant des diamètres de fils différents d'une couche à l'autre, voire à l'intérieur d'une même couche. Des câbles de construction [1+6+12] dont la pénétrabilité est améliorée grâce à un choix approprié des diamètres des fils, notamment à l'utilisation d'un fil d'âme de plus gros diamètre, ont été décrits par exemple dans EP-A-0 648 891 ou WO98/41682.

Pour améliorer encore, par rapport à ces câbles conventionnels, la pénétration du caoutchouc à l'intérieur du câble, on a proposé ou décrit des câbles multicouches avec une âme centrale entourée d'au moins deux couches concentriques, notamment des câbles de formule [1+M+N] (par exemple [1+5+10]) dont la couche externe est insaturée (incomplète), assurant ainsi une meilleure pénétrabilité par le caoutchouc (voir par exemple demandes précitées EP-A-0 675 223, EP-A-0 719 889, EP-A-0 744 490, WO98/41682). Les constructions proposées permettent la suppression du fil de frette, grâce à une meilleure pénétration du caoutchouc à travers la couche externe et l'auto-frettage qui en résulte. L'expérience montre toutefois que ces câbles ne sont pas pénétrés jusqu'à coeur par le caoutchouc, en tout cas encore insuffisamment.

En tout état de cause, une amélioration de la pénétrabilité par le caoutchouc n'est pas suffisante pour garantir un niveau de performance suffisant. Lorsqu'ils sont utilisés pour le renforcement des armatures de carcasse de pneumatiques, les câbles doivent non seulement résister à la corrosion mais aussi satisfaire un grand nombre de critères, parfois contradictoires, en particulier de ténacité, résistance au fretting, adhésion élevée au caoutchouc, uniformité, flexibilité, endurance en flexion répétée, stabilité sous forte flexion, etc.

Ainsi, pour toutes les raisons exposées précédemment, et malgré les différentes améliorations récentes qui ont pu être apportées ici ou là sur tel ou tel critère déterminé, les meilleurs câbles utilisés aujourd'hui dans les armatures de carcasse de pneumatiques Poids-lourds restent limités à un petit nombre de câbles à couches de structure fort conventionnelle, du type compacts ou à couches cylindriques, avec une couche externe saturée (complète) ; il s'agit essentiellement des câbles de constructions [3+9], [3+9+15] ou [1+6+12] tels que décrits précédemment.

Or, la Demanderesse a trouvé lors de ses recherches un câble à couches nouveau, du type à couche externe insaturée, qui de manière inattendue améliore encore la performance globale des meilleurs câbles à couches connus pour le renforcement des carcasses de pneumatiques Poids-lourd. Ce câble de l'invention présente, grâce à une architecture spécifique, non seulement une excellente pénétrabilité par le caoutchouc, limitant les problèmes de corrosion, mais encore des propriétés d'endurance en fatigue-fretting qui sont notablement améliorées par rapport aux câbles de l'art antérieur.

La longévité des pneumatiques Poids-lourd et celle de leurs armatures de carcasse peuvent être ainsi sensiblement améliorées.

En conséquence, un premier objet de l'invention est un câble multicouches à couche externe insaturée, utilisable comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatique, comportant une âme (notée C0) de diamètre d_0 , entourée d'une couche intermédiaire (notée C1) de quatre ou cinq fils ($M = 4$ ou 5) de diamètre d_1 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_1 , cette couche C1 étant elle-même entourée d'une couche externe (notée C2) de N fils de diamètre d_2 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_2 , N étant inférieur de 1 à 3 au nombre maximal N_{\max} de fils enroulables en une couche autour de la couche C1, ce câble étant caractérisé en ce qu'il présente les caractéristiques suivantes (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 et p_2 en mm):

- (i) $0,08 < d_0 < 0,28$;
- (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$;
- (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$;
- (iv) pour $M = 4$: $0,40 < (d_0 / d_1) < 0,80$;
pour $M = 5$: $0,70 < (d_0 / d_1) < 1,10$;
- (v) $4,8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion.

L'invention concerne également l'utilisation d'un câble conforme à l'invention pour le renforcement d'articles ou de produits semi-finis en matière plastique et/ou en caoutchouc, par exemple des nappes, des tuyaux, des courroies, des bandes transporteuses, des pneumatiques, plus particulièrement des pneumatiques destinés à des véhicules industriels utilisant habituellement une armature de carcasse métallique.

Le câble de l'invention est tout particulièrement destiné à être utilisé comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatique destiné à des véhicules industriels choisis parmi camionnettes, "Poids-lourds" - i.e., métro, bus, engins de transport routier (camions, tracteurs, remorques), véhicules hors-la-route - , engins agricoles ou de génie civil, avions, autres véhicules de transport ou de manutention.

L'invention concerne en outre ces articles ou produits semi-finis en matière plastique et/ou en caoutchouc eux-mêmes lorsqu'ils sont renforcés par un câble conforme à l'invention, en particulier les pneumatiques destinés aux véhicules industriels cités ci-dessus, plus particulièrement les pneumatiques Poids-lourds et leurs nappes d'armature de carcasse.

L'invention ainsi que ses avantages seront aisément compris à la lumière de la description et des exemples de réalisation qui suivent, ainsi que des figures 1 et 3 relatives à ces exemples qui schématisent, respectivement:

- une coupe transversale d'un câble de structure [1+5+10] conforme à l'invention (figure 1);
- une coupe transversale d'un câble de structure compacte de l'art antérieur (figure 2);
- une coupe radiale d'une enveloppe de pneumatique Poids-lourd à armature de carcasse radiale (figure 3).

I. MESURES ET TESTS

I-1. Mesures dynamométriques

- 5 En ce qui concerne les fils ou câbles métalliques, les mesures de force à la rupture notée F_m (charge maximale en N), de résistance à la rupture notée R_m (en MPa) et d'allongement à la rupture noté A_t (allongement total en %) sont effectuées en traction selon la norme ISO 6892 de 1984. En ce qui concerne les compositions de caoutchouc, les mesures de module sont effectuées en traction selon la norme AFNOR-NFT-46002 de septembre 1988 : on mesure en
- 10 seconde élongation (i.e., après un cycle d'accommodation) le module sécant nominal (ou contrainte apparente, en MPa) à 10% d'allongement, noté M_{10} (conditions normales de température et d'hygrométrie selon la norme AFNOR-NFT-40101 de décembre 1979).

I-2. Test de perméabilité à l'air

- 15 Le test de perméabilité à l'air permet de mesurer un indice relatif de perméabilité à l'air noté " P_a ". Il constitue un moyen simple de mesure indirecte du taux de pénétration du câble par une composition de caoutchouc. Il est réalisé sur des câbles extraits directement, par décorticage, des nappes de caoutchouc vulcanisées qu'ils renforcent, donc pénétrés par le
- 20 caoutchouc cuit.

- Le test est réalisé sur une longueur de câble déterminée (par exemple 2 cm) de la manière suivante: on envoie de l'air à l'entrée du câble, sous une pression donnée (par exemple 1 bar), et on mesure la quantité d'air à la sortie, à l'aide d'un débitmètre ; pendant la mesure
- 25 l'échantillon de câble est bloqué dans un joint étanche de telle manière que seule la quantité d'air traversant le câble d'une extrémité à l'autre, selon son axe longitudinal, est prise en compte par la mesure. Le débit mesuré est d'autant plus faible que le taux de pénétration du câble par le caoutchouc est élevé.

I-3. Test courroie

- 30 Le test "courroie" est un test de fatigue connu qui a été décrit par exemple dans les demandes EP-A-0 648 891 ou WO98/41682 précitées, les câbles d'acier à tester étant incorporés dans un article en caoutchouc que l'on vulcanise.

- 35 Son principe est le suivant: l'article en caoutchouc est une courroie sans fin réalisée avec un mélange connu à base de caoutchouc, semblable à ceux qui sont couramment utilisés pour les carcasses des pneumatiques radiaux. L'axe de chaque câble est orienté selon la direction longitudinale de la courroie et les câbles sont séparés des faces de cette dernière par une
- 40 épaisseur de gomme d'environ 1 mm. Lorsque la courroie est disposée de façon à former un cylindre de révolution, le câble forme un enroulement en hélice de même axe que ce cylindre (par exemple, pas de l'hélice égal à environ 2,5 mm).

- On fait ensuite subir à cette courroie les sollicitations suivantes : on fait tourner la courroie
- 45 autour de deux galets, de telle sorte que chaque portion élémentaire de chaque câble soit soumise à une tension de 12% de la force-rupture initiale et subisse des cycles de variation de

courbure qui la font passer d'un rayon de courbure infini à un rayon de courbure de 40 mm et ceci pendant 50 millions de cycles. Le test est réalisé sous une atmosphère contrôlée, la température et l'humidité de l'air au contact de la courroie étant maintenues à environ 20°C et 60% d'humidité relative. La durée des sollicitations pour chaque courroie est de l'ordre de 3 semaines. A la fin de ces sollicitations, on extrait les câbles des courroies, par décortilage, et on mesure la force rupture résiduelle des fils des câbles fatigués.

On réalise d'autre part une courroie identique à la précédente et on la décortique de la même façon que précédemment mais cette fois sans soumettre les câbles au test de fatigue. On mesure ainsi la force rupture initiale des fils des câbles non fatigués.

On calcule finalement la déchéance de force-rupture après fatigue (notée ΔF_m et exprimée en %), en comparant la force-rupture résiduelle à la force-rupture initiale.

Cette déchéance ΔF_m est de manière connue due à la fatigue et à l'usure des fils causées par l'action conjointe des sollicitations et de l'eau provenant de l'air ambiant, ces conditions étant comparables à celles auxquelles sont soumis les câbles de renforcement dans des carcasses de pneumatiques.

1-4. Test de traction ondulée

Le test de "traction ondulée" est un test de fatigue bien connu de l'homme du métier, dans lequel le matériau testé est fatigué en extension uni-axiale pure (extension-extension), c'est-à-dire sans contrainte de compression.

Le principe est le suivant : un échantillon du câble à tester, maintenu à chacune de ses deux extrémités par les deux mors d'une machine de traction est soumis à une contrainte de traction ou extension dont l'intensité σ varie de manière cyclique et symétrique ($\sigma_{moy} \pm \sigma_a$) autour d'une valeur moyenne (σ_{moy}), entre deux valeurs extrêmes σ_{min} ($\sigma_{moy} - \sigma_a$) et σ_{max} ($\sigma_{moy} + \sigma_a$) encadrant cette valeur moyenne, sous un rapport de charge "R" = ($\sigma_{min}/\sigma_{max}$) déterminé. La contrainte moyenne σ_{moy} est donc liée au rapport de charge R et à l'amplitude σ_a par la relation $\sigma_{moy} = \sigma_a(1+R)/(1-R)$.

En pratique, le test est conduit de la manière suivante: on choisit une première amplitude de contrainte σ_a (généralement dans un domaine de l'ordre de 1/4 à 1/3 de la résistance R_m du câble) et on lance le test de fatigue pour un nombre maximal de 10^5 cycles (fréquence 30 Hz), le rapport de charge R étant choisi égal à 0,1. Selon le résultat obtenu -- i.e. rupture ou non-rupture du câble au bout de ces 10^5 cycles maximum -- on applique une nouvelle amplitude σ_a (inférieure ou supérieure à la précédente, respectivement) sur une nouvelle éprouvette, en faisant varier cette valeur σ_a selon la méthode dite de l'escalier (Dixon & Mood ; Journal of the American statistical association, 43, 1948, 109-126). On effectue ainsi 17 itérations au total, le traitement statistique des essais défini par cette méthode de l'escalier conduit à la détermination d'une limite d'endurance - notée σ_d - qui correspond à une probabilité de rupture du câble de 50% au bout des 10^5 cycles de fatigue.

On utilise pour ce test une machine de fatigue en traction de la société Schenk (modèle PSA) ; la longueur utile entre les deux mors est de 10 cm ; la mesure est réalisée sous une atmosphère sèche contrôlée (taux d'humidité relative inférieur ou égal à 5% ; température de 20°C).

5 I-5. Test d'endurance en pneumatique

L'endurance des câbles en fatigue-fretting-corrosion est évaluée dans des nappes carcasse de pneumatiques poids-lourd par un test de roulage de très longue durée.

10 On fabrique pour cela des pneumatiques Poids-lourd dont l'armature de carcasse est constituée d'une seule nappe caoutchoutée renforcée par les câbles à tester. On monte ces pneumatiques sur des jantes connues adaptées et on les gonfle à la même pression (avec une surpression par rapport à la pression nominale) avec de l'air saturé en humidité. On fait ensuite rouler ces pneumatiques sur une machine de roulage automatique, sous une charge très élevée (surcharge
15 par rapport à la charge nominale) et à la même vitesse, pendant un nombre déterminé de kilomètres. A la fin du roulage, on extrait les câbles de la carcasse du pneumatique, par décortiquage, et on mesure la force rupture résiduelle à la fois sur les fils et sur les câbles ainsi fatigués.

20 On réalise d'autre part des pneumatiques identiques aux précédents et on les décortique de la même façon que précédemment, mais cette fois sans les soumettre au roulage. On mesure ainsi, après décortiquage, la force rupture initiale des fils et des câbles non fatigués.

On calcule finalement la déchéance de force-rupture après fatigue (notée ΔF_m et exprimée en
25 %), en comparant la force-rupture résiduelle à la force-rupture initiale. Cette déchéance ΔF_m est due à la fatigue et à l'usure (diminution de section) des fils causées par l'action conjointe des diverses sollicitations mécaniques, en particulier de l'intense travail des forces de contact entre les fils, et de l'eau provenant de l'air ambiant, en d'autres termes à la fatigue-fretting-corrosion subie par le câble à l'intérieur du pneumatique, lors du roulage.

30 On peut aussi choisir de conduire le test de roulage jusqu'à la destruction forcée du pneumatique, en raison d'une rupture de la nappe de carcasse ou d'un autre type d'avarie survenant plus tôt (par exemple un déchapage).

35

II. DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

II-1. Câble de l'invention

40 Les termes "formule" ou "structure", lorsqu'ils sont utilisés dans la présente description pour décrire les câbles, se réfèrent simplement à la construction de ces câbles.

Le câble de l'invention est un câble multicouches comportant une âme (C0) de diamètre d_0 , une couche intermédiaire (C1) de 4 ou 5 fils ($M = 4$ ou 5) de diamètre d_1 et une couche
45 externe insaturée (C2) de N fils de diamètre d_2 , N étant inférieur de 1 à 3 au nombre maximal N_{\max} de fils enroulables en une couche unique autour de la couche C1.

Dans ce câble à couches de l'invention, le diamètre de l'âme et celui des fils des couches C1 et C2, les pas d'hélice (donc les angles) et les sens d'enroulement des différentes couches sont définies par l'ensemble des caractéristiques ci-après (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 et p_2 exprimés en mm):

5

- (i) $0,08 < d_0 < 0,28$;
- (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$;
- (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$;
- (iv) pour $M = 4$: $0,40 < (d_0 / d_1) < 0,80$;
pour $M = 5$: $0,70 < (d_0 / d_1) < 1,10$;
- (v) $4,8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion.

10

Les caractéristiques (i) à (vi) ci-dessus, en combinaison, permettent d'obtenir à la fois:

15

- des forces de contact suffisantes mais limitées entre C0 et C1, favorables à une usure réduite et une fatigue moindre des fils de la couche C1;
- une usure par fretting réduite entre les fils des couches C1 et C2, ceci malgré la présence de pas différents ($p_1 \neq p_2$) entre les deux couches C1 et C2.
- grâce notamment à une optimisation du rapport des diamètres (d_0 / d_1) et des angles d'hélice que forment les fils des couches C1 et C2, une pénétration optimale du caoutchouc à travers les couches C1 et C2 et jusqu'au coeur C0 de ce dernier, assurant d'une part une très haute protection contre la corrosion ou son éventuelle propagation, d'autre part une désorganisation minimale du câble sous sollicitation en forte flexion.

25

Ainsi, grâce à sa structure spécifique, le câble de l'invention, déjà auto-fretté, ne nécessite généralement pas l'emploi d'un fil de frette externe autour de la couche C2 ; ceci résout avantageusement les problèmes d'usure entre le fil de frette et les fils de la couche la plus externe du câble.

30

Mais, bien entendu, le câble de l'invention pourrait aussi comporter une telle frette externe, constituée par exemple d'un (au moins un) fil unique enroulé en hélice autour de la couche externe C2, selon un pas d'hélice préférentiellement plus court que celui de la couche C2, et un sens d'enroulement opposé ou identique à celui de cette couche externe.

35

Afin de renforcer encore l'effet de frettage spécifique apportée par la couche C2, le câble de l'invention, en particulier lorsqu'il est dépourvu d'un tel fil de frette externe, vérifie de préférence la caractéristique (vii) ci-après:

40

- (vii) $5,0 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,0 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$.

45

Les caractéristiques (v) et (vi) - pas p_1 et p_2 différents et couches C1 et C2 enroulés dans le même sens de torsion - font que, de manière connue, les fils des couches C1 et C2 sont essentiellement disposés selon deux couches cylindriques (i.e. tubulaires), adjacentes et concentriques. Par câbles à couches dites "tubulaires" ou "cylindriques", on entend ainsi des câbles constitués d'une âme (i.e., noyau ou partie centrale) et d'une ou plusieurs couches

concentriques, chacune de forme tubulaire, disposée(s) autour de cette âme, de telle manière que, au moins dans le câble au repos, l'épaisseur de chaque couche est sensiblement égale au diamètre des fils qui la constituent ; il en résulte que la section transversale du câble a un contour ou enveloppe (notée E) qui est sensiblement circulaire, comme illustré par exemple sur la figure 1.

Les câbles à couches cylindriques ou tubulaires de l'invention ne doivent en particulier pas être confondus avec des câbles à couches dits "compacts", assemblages de fils enroulés au même pas et dans la même direction de torsion ; dans de tels câbles, la compacité est telle que pratiquement aucune couche distincte de fils n'est visible ; il en résulte que la section transversale de tels câbles a un contour (E) qui n'est plus circulaire, mais polygonal, comme illustré par exemple sur la figure 2.

La couche externe C2 est une couche tubulaire de N fils dite "insaturée" ou "incomplète", c'est-à-dire que, par définition, il existe suffisamment de place dans cette couche tubulaire C2 pour y ajouter au moins un $(N+1)$ ème fil de diamètre d_2 , plusieurs des N fils se trouvant éventuellement au contact les uns des autres. Réciproquement, cette couche tubulaire C2 serait qualifiée de "saturée" ou "complète" s'il n'existait pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un $(N+1)$ ème fil de diamètre d_2 .

De préférence, le câble de l'invention est un câble à couches de construction notée $[1+M+N]$, c'est-à-dire que son âme est constituée d'un seul fil, tel que représenté par exemple sur la figure 1 (câble noté C-I).

Cette figure 1 schématise une coupe perpendiculaire à l'axe (noté O) de l'âme et du câble, le câble étant supposé rectiligne et au repos. On voit que l'âme C0 (diamètre d_0) est formée d'un fil unique ; elle est entourée et au contact d'une couche intermédiaire C1 de 5 fils de diamètre d_1 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_1 ; cette couche C1, d'épaisseur sensiblement égale à d_1 , est elle-même entourée et au contact d'une couche externe C2 de 10 fils de diamètre d_2 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_2 , et donc d'épaisseur sensiblement égale à d_2 . Les fils enroulés autour de l'âme C0 sont ainsi disposés selon deux couches adjacentes et concentriques, tubulaires (couche C1 d'épaisseur sensiblement égale à d_1 , puis couche C2 d'épaisseur sensiblement égale à d_2). On voit que les fils de la couche C1 ont leurs axes (notés O_1) disposés pratiquement sur un premier cercle C_1 représenté en pointillés, tandis que les fils de la couche C2 ont leurs axes (notés O_2) disposés pratiquement sur un second cercle C_2 , représenté également en pointillés.

Pour un compromis de résultats encore meilleur, vis-à-vis en particulier de la pénétrabilité du câble par le caoutchouc et des forces de contact entre les différentes couches, on préfère que la relation (vii) supra soit vérifiée, ceci que le câble de l'invention soit fretté ou non par un fil de frette externe.

Plus préférentiellement encore, pour ces mêmes raisons, le câble de l'invention vérifie la relation suivante:

$$(viii) \quad 5,3 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4,7 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2) .$$

En décalant ainsi les pas et donc les angles de contact entre les fils de la couche C1 d'une part, et ceux de la couche C2 d'autre part, on a constaté qu'on améliorerait encore la pénétrabilité du câble. en augmentant la surface des canaux de pénétration entre ces deux couches, tout en optimisant ses performances en fatigue-fretting.

On rappelle ici que, selon une définition connue, le pas représente la longueur, mesurée parallèlement à l'axe O du câble, au bout de laquelle un fil ayant ce pas effectue un tour complet autour de l'axe O du câble ; ainsi, si l'on sectionne l'axe O par deux plans perpendiculaires à l'axe O et séparés par une longueur égale au pas d'un fil d'une des deux couches C1 ou C2, l'axe de ce fil (O₁ ou O₂, respectivement) a dans ces deux plans la même position sur les deux cercles correspondant à la couche C1 ou C2 du fil considéré.

Dans le câble conforme à l'invention, un mode de réalisation préférentiel consiste à choisir les pas p₁ et p₂ compris dans un domaine de 5 à 15 mm, p₁ étant notamment compris dans un domaine de 5 à 10 mm et p₂ compris dans un domaine de 10 à 15 mm.

La relation suivante est plus préférentiellement vérifiée, en particulier lorsque le câble de l'invention est dépourvu de fil de frette externe:

$$6 < p_1 < p_2 < 14 .$$

Un mode de réalisation particulier et avantageux consiste alors à choisir p₁ compris entre 6 et 10 mm et p₂ compris entre 10 et 14 mm.

Dans le câble conforme à l'invention, tous les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion, c'est-à-dire soit dans la direction S (disposition "S/S"), soit dans la direction Z (disposition "Z/Z"). Une telle disposition des couches C1 et C2 est plutôt contraire aux constructions les plus classiques des câbles à couches [L+M+N], notamment ceux de construction [3+9+15], qui nécessitent le plus souvent un croisement des deux couches C1 et C2 (soit une disposition "S/Z" ou "Z/S") afin que les fils de la couche C2 viennent eux-mêmes fretter les fils de la couche C1. L'enroulement dans le même sens des couches C1 et C2 permet avantageusement, dans le câble conforme à l'invention, de minimiser les frottements entre ces deux couches C1 et C2 et donc l'usure des fils qui les constituent.

Dans le câble de l'invention, les rapports (d₀/d₁) doivent être fixés dans des limites déterminées, selon le nombre M (4 ou 5) de fils de la couche C1. Une valeur trop faible de ce rapport est préjudiciable à l'usure entre l'âme et les fils de la couche C1. Une valeur trop élevée nuit à la compacité du câble, pour un niveau de résistance en définitive peu modifié, ainsi qu'à sa flexibilité ; la rigidité accrue de l'âme due à un diamètre d₀ trop élevé serait par ailleurs préjudiciable à la faisabilité elle-même du câble, lors des opérations de câblage.

Les fils des couches C1 et C2 peuvent avoir un diamètre identique ou différent d'une couche à l'autre ; on peut utiliser avantageusement des fils de même diamètre (d₁ = d₂), notamment pour simplifier le procédé de câblage et abaisser les coûts, comme représenté par exemple sur la figure 1.

Le nombre maximal N_{\max} de fils enroulables en une couche unique saturée autour de la couche C1 est bien entendu fonction de nombreux paramètres (diamètre d_0 de l'âme, nombre M et diamètre d_1 des fils de la couche C1, diamètre d_2 des fils de la couche C2). A titre d'exemple, si N_{\max} est égal à 12, N peut alors varier de 9 à 11 (par exemple constructions [1+M+9], [1+M+10] ou [1+M+11]); si N_{\max} est par exemple égal à 11, N peut alors varier de 8 à 10 (par exemple constructions [1+M+8], [1+M+9] ou [1+M+10]).

De préférence, le nombre N de fils dans la couche C2 est inférieur de 1 à 2 au nombre maximal N_{\max} . Ceci permet dans la plupart des cas d'aménager un espace suffisant entre les fils pour que les compositions de caoutchouc puissent s'infiltrer entre les fils de la couche C2 et atteindre la couche C1. Ainsi, l'invention est de préférence mise en oeuvre avec un câble choisi parmi les câbles de structure [1+4+8], [1+4+9], [1+4+10], [1+5+9], [1+5+10] ou [1+5+11].

A titre d'exemples de câbles conformes à l'invention, on citera les câbles ayant les constructions suivantes et en particulier, parmi eux, les câbles préférentiels vérifiant au moins l'une des relations (vii) ou (viii) précitées:

- [1+4+8] avec $d_0 = 0,100$ mm et $d_1 = d_2 = 0,200$ mm;
- [1+4+8] avec $d_0 = 0,120$ mm et $d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+4+9] avec $d_0 = 0,120$ mm et $d_1 = d_2 = 0,200$ mm;
- [1+4+9] avec $d_0 = 0,150$ mm et $d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+4+10] avec $d_0 = 0,120$ mm et $d_1 = d_2 = 0,175$ mm;
- [1+4+10] avec $d_0 = 0,150$ mm et $d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+5+9] avec $d_0 = 0,150$ mm et $d_1 = d_2 = 0,175$ mm;
- [1+5+9] avec $d_0 = 0,175$ mm et $d_1 = d_2 = 0,200$ mm;
- [1+5+10] avec $d_0 = 0,150$ mm et $d_1 = d_2 = 0,175$ mm;
- [1+5+10] avec $d_0 = d_1 = d_2 = 0,200$ mm;
- [1+5+11] avec $d_0 = d_2 = 0,200$ mm ; $d_1 = 0,225$ mm;
- [1+5+11] avec $d_0 = 0,200$ mm et $d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+5+11] avec $d_0 = d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+5+11] avec $d_0 = 0,240$ mm et $d_1 = d_2 = 0,225$ mm;
- [1+5+11] avec $d_0 = d_2 = 0,225$ mm ; $d_1 = 0,260$ mm.

On notera que, dans ces câbles, au moins deux couches sur trois (C0, C1, C2) contiennent des fils de diamètres (respectivement d_0 , d_1 , d_2) identiques.

L'invention est préférentiellement mise en oeuvre, dans les armatures de carcasses des pneumatiques Poids-lourd, avec des câbles de structure [1+5+N], plus préférentiellement de structure [1+5+9], [1+5+10] ou [1+5+11]. Plus préférentiellement encore, on utilise des câbles de structure [1+5+10] ou [1+5+11].

Pour de tels câbles [1+5+N], un mode avantageux de réalisation de l'invention consiste à utiliser des fils de même diamètre pour l'âme et au moins une des couches C1 et C2, voire pour les deux couches (dans ce cas, $d_0 = d_1 = d_2$), comme représenté par exemple à la figure 1.

Toutefois, pour augmenter encore la pénétrabilité du câble par le caoutchouc, les fils de la couche C1 peuvent être choisis de diamètre supérieur à ceux de la couche C2, par exemple dans un rapport (d_1/d_2) préférentiellement compris entre 1,05 et 1,30.

Pour des raisons de résistance, de faisabilité et de coût industriels, on préfère que le diamètre d_0 de l'âme soit compris entre 0,14 et 0,28 mm.

D'autre part, pour un meilleur compromis entre résistance, faisabilité et tenue en flexion du câble, d'une part, pénétrabilité par les compositions de caoutchouc d'autre part, on préfère que les diamètres des fils des couches C2 soient compris entre 0,15 et 0,25 mm.

Pour les armatures de carcasse de pneumatiques Poids-lourd, le diamètre d_1 est de préférence choisi inférieur ou égal à 0,26 mm et le diamètre d_2 est de préférence supérieur à 0,17 mm. Un diamètre d_1 inférieur ou égal à 0,26 mm permet de réduire le niveau des contraintes subies par les fils lors des variations importantes de courbure des câbles, alors qu'on choisit de préférence des diamètres d_2 supérieurs à 0,17 mm pour des raisons, notamment, de résistance des fils et de coût industriel; lorsque d_1 et d_2 sont choisis dans ces intervalles préférentiels, le diamètre d_0 de l'âme est alors plus préférentiellement compris entre 0,14 et 0,25 mm.

L'invention peut être mise en oeuvre avec tout type de fils en acier, par exemple des fils en acier au carbone et/ou des fils en acier inoxydable tels que décrits par exemple dans les demandes EP-A-0 648 891 ou WO98/41682 précitées. On utilise de préférence un acier au carbone, mais il est bien entendu possible d'utiliser d'autres aciers ou d'autres alliages.

Lorsqu'un acier au carbone est utilisé, sa teneur en carbone (% en poids d'acier) est de préférence comprise entre 0,50% et 1,0%, plus préférentiellement entre 0,68% et 0,95%; ces teneurs représentent un bon compromis entre les propriétés mécaniques requises pour le pneumatique et la faisabilité du fil. Il est à noter que dans les applications où les plus hautes résistances mécaniques ne sont pas nécessaires, on pourra utiliser avantageusement des aciers au carbone dont la teneur en carbone est comprise entre 0,50% et 0,68%, notamment varie de 0,55% à 0,60%, de tels aciers étant finalement moins coûteux car plus faciles à tréfiler. Un autre mode avantageux de réalisation de l'invention peut consister aussi, selon les applications visées, à utiliser des aciers à faible teneur en carbone, comprise par exemple entre 0,2% et 0,5%, en raison notamment d'un coût plus bas et d'une plus grande facilité de tréfilage.

Lorsque les câbles de l'invention sont utilisés pour renforcer les armatures de carcasse de pneumatiques pour véhicules industriels, leurs fils ont de préférence une résistance en traction supérieure à 2000 MPa, plus préférentiellement supérieure à 3000 MPa. Dans le cas de pneumatiques de très grosses dimensions, on choisira notamment des fils dont la résistance en traction est comprise entre 3000 MPa et 4000 MPa. L'homme du métier sait comment fabriquer par exemple des fils d'acier au carbone présentant une telle résistance, en ajustant notamment la teneur en carbone de l'acier et les taux d'écrouissage final (ϵ) de ces fils.

Le câble de l'invention peut comporter une frette externe, constituée par exemple d'un fil unique, métallique ou non, enroulé en hélice autour du câble selon un pas plus court que celui

de la couche externe, et un sens d'enroulement opposé ou identique à celui de cette couche externe.

5 Cependant, grâce à sa structure spécifique, le câble de l'invention, déjà auto-fretté, ne nécessite généralement pas l'emploi d'un fil de frette externe, ce qui résout avantageusement les problèmes d'usure entre la frette et les fils de la couche la plus externe du câble.

10 Toutefois, si un fil de frette est utilisé, dans le cas général où les fils de la couche C2 sont en acier au carbone, on pourra alors avantageusement choisir un fil de frette en acier inoxydable afin de réduire l'usure par fretting de ces fils en acier au carbone au contact de la frette en acier inoxydable, comme enseigné par la demande WO98/41682 précitée, le fil en acier inoxydable pouvant être éventuellement remplacé, de manière équivalente, par un fil composite dont seule la peau est en acier inoxydable et le cœur en acier au carbone, tel que décrit par exemple dans la demande de brevet EP-A-0 976 541.

15

II-2. Tissu et pneumatique de l'invention

L'invention concerne également les pneumatiques destinés à des véhicules industriels, plus particulièrement les pneumatiques Poids-lourds ainsi que les tissus caoutchoutés utilisables comme nappes d'armature de carcasse de ces pneumatiques Poids-lourd.

25 A titre d'exemple, la figure 3 représente de manière schématique une coupe radiale d'un pneumatique Poids-lourd 1 à armature de carcasse radiale pouvant être conforme ou non à l'invention, dans cette représentation générale. Ce pneumatique 1 comporte un sommet 2, deux flancs 3 et deux bourrelets 4, chacun de ces bourrelets 4 étant renforcé avec une tringle 5. Le sommet 2, surmonté d'une bande de roulement (non représentée sur cette figure schématique) est de manière connue en soi renforcé par une armature de sommet 6 constituée par exemple d'au moins deux nappes croisées superposées, renforcées par des câbles métalliques connus. Une armature de carcasse 7 est enroulée autour des deux tringles 5 dans 30 chaque bourrelet 4, le retournement 8 de cette armature 7 étant par exemple disposé vers l'extérieur du pneumatique 1 qui est ici représenté monté sur sa jante 9. L'armature de carcasse 7 est constituée d'au moins une nappe renforcée par des câbles dits "radiaux", c'est-à-dire que ces câbles sont disposés pratiquement parallèles les uns aux autres et s'étendent d'un bourrelet à l'autre de manière à former un angle compris entre 80° et 90° avec le plan circonférentiel médian (plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique qui est situé à mi-distance 35 des deux bourrelets 4 et passe par le milieu de l'armature de sommet 6).

Le pneumatique conforme à l'invention est caractérisé en ce que son armature de carcasse 7 comporte au moins une nappe de carcasse dont les câbles radiaux sont des câbles d'acier multicouches conformes à l'invention.

45 Dans cette nappe de carcasse, la densité des câbles conformes à l'invention est de préférence comprise entre 40 et 100 câbles par dm (décimètre) de nappe radiale, plus préférentiellement entre 50 et 80 câbles par dm, la distance entre deux câbles radiaux adjacents, d'axe en axe, étant ainsi de préférence comprise entre 1,0 et 2,5 mm, plus préférentiellement entre 1,25 et 2,0 mm. Les câbles conformes à l'invention sont de préférence disposés de telle manière que

la largeur (notée " ℓ ") du pont de caoutchouc, entre deux câbles adjacents, est comprise entre 0,35 et 1 mm. Cette largeur ℓ représente de manière connue la différence entre le pas de calandrage (pas de pose du câble dans le tissu de caoutchouc) et le diamètre du câble. En dessous de la valeur minimale indiquée, le pont de caoutchouc, trop étroit, risque de se dégrader mécaniquement lors du travail de la nappe, notamment au cours des déformations subies dans son propre plan par extension ou cisaillement. Au-delà du maximum indiqué, on s'expose à des risques d'apparition de défauts d'aspect sur les flancs des pneumatiques ou de pénétration d'objets, par perforation, entre les câbles. Plus préférentiellement, pour ces mêmes raisons, la largeur " ℓ " est choisie comprise entre 0,4 et 0,8 mm.

Les valeurs préconisées ci-dessus de densité des câbles, de distance entre câbles adjacents et de largeur " ℓ " de pont de caoutchouc sont celles mesurées tant sur le tissu tel quel à l'état cru (i.e., avant incorporation au pneumatique) que dans le pneumatique lui-même, dans ce dernier cas mesurées sous la tringle du pneumatique.

De préférence, la composition de caoutchouc utilisée pour le tissu de la nappe de carcasse présente, à l'état vulcanisé (i.e., après cuisson), un module sécant en extension M10 qui est inférieur à 8 MPa, plus préférentiellement compris entre 4 et 8 MPa. C'est dans un tel domaine de modules que l'on a enregistré le meilleur compromis d'endurance entre les câbles de l'invention d'une part, et les tissus renforcés de ces câbles d'autre part.

A titre d'exemple, pour la fabrication des pneumatiques de l'invention, on procède de la manière suivante. Les câbles à couches précédents sont incorporés par calandrage à un tissu caoutchouté formé d'une composition connue à base de caoutchouc naturel et de noir de carbone à titre de charge renforçante, utilisée conventionnellement pour la fabrication des nappes d'armature de carcasse des pneumatiques Poids-lourd radiaux. Les pneumatiques sont ensuite fabriqués de manière connue et sont tels que schématisés sur la figure 3, déjà commentée. Leur armature de carcasse radiale 7 est, à titre d'exemple, constituée d'une seule nappe radiale formée du tissu caoutchouté ci-dessus, les câbles radiaux de l'invention étant disposés selon un angle d'environ 90° avec le plan circonférentiel médian. Leur armature de sommet 6 est, de manière connue en soi, constituée de deux nappes de travail superposées croisées, renforcées de câbles métalliques inclinés de 22 degrés, ces deux nappes de travail étant recouvertes par une nappe sommet de protection renforcée de câbles métalliques "élastiques" (i.e., des câbles à haute élongation). Dans chacune de ces nappes d'armature de sommet, les câbles métalliques utilisés sont des câbles conventionnels connus, disposés sensiblement parallèlement les uns par rapport aux autres, et les angles d'inclinaison indiqués sont mesurés par rapport au plan circonférentiel médian.

III. EXEMPLES DE REALISATION DE L'INVENTION

III-1. Nature et propriétés des fils utilisés

Pour la réalisation des exemples de câbles conformes ou non conformes à l'invention à l'invention, on utilise des fils fins en acier au carbone préparés selon des méthodes connues telles que décrites par exemple dans les demandes EP-A-0 648 891 ou WO98/41682 précitées,

en partant de fils commerciaux dont le diamètre initial est d'environ 1 mm. L'acier utilisé est un acier au carbone connu (norme USA AISI 1069) dont la teneur en carbone est de 0,7% environ, comportant 0,5% de manganèse et 0,2% de silicium environ, le reste étant constitué de fer et des impuretés inévitables habituelles liées au procédé de fabrication de l'acier.

5 Les fils commerciaux de départ subissent d'abord un traitement connu de dégraissage et/ou décapage avant leur mise en oeuvre ultérieure. A ce stade, leur résistance à la rupture est égale à environ 1150 MPa, leur allongement à la rupture est d'environ 10%. On effectue ensuite sur chaque fil un dépôt de cuivre, puis un dépôt de zinc, par voie électrolytique à la température
10 ambiante, et on chauffe ensuite thermiquement par effet Joule à 540°C pour obtenir du laiton par diffusion du cuivre et du zinc, le rapport pondéral (phase α) / (phase α + phase β) étant égal à environ 0,85. Aucun traitement thermique n'est effectué sur le fil après l'obtention du revêtement de laiton.

15 On effectue alors sur chaque fil un écrouissage dit "final" (i.e., mis en oeuvre après le dernier traitement thermique), par tréfilage à froid en milieu humide avec un lubrifiant de tréfilage qui se présente sous forme d'une émulsion dans de l'eau. Ce tréfilage humide est effectué de manière connue afin d'obtenir le taux d'écrouissage final (noté ϵ) calculé à partir du diamètre initial indiqué précédemment pour les fils commerciaux de départ.

20 Par définition, le taux d'un écrouissage noté ϵ est donné par la formule $\epsilon = \ln(S_i / S_f)$, dans laquelle \ln est le logarithme népérien, S_i représente la section initiale du fil avant cet écrouissage et S_f la section finale du fil après cet écrouissage.

25 En ajustant le taux d'écrouissage final, on prépare ainsi deux groupes de fils de diamètres différents, un premier groupe de fils de diamètre moyen ϕ égal à environ 0,200 mm ($\epsilon = 3,2$) pour les fils d'indice 1 (fils notés F1) et un second groupe de fils de diamètre moyen ϕ égal à environ 0,175 mm ($\epsilon = 3,5$) pour les fils d'indice 2 (fils notés F2).

30 Les fils en acier ainsi tréfilés ont les propriétés mécaniques indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1

Fils	ϕ (mm)	F _m (N)	At (%)	R _m (MPa)
F1	0,200	82	1.8	2720
F2	0,175	62	2.1	2860

35 L'allongement At indiqué pour les fils est l'allongement total enregistré à la rupture du fil, c'est-à-dire intégrant à la fois la partie élastique de l'allongement (loi de Hooke) et la partie plastique de l'allongement.

40 Le revêtement de laiton qui entoure les fils a une épaisseur très faible, nettement inférieure au micromètre, par exemple de l'ordre de 0,15 à 0,30 μm , ce qui est négligeable par rapport au diamètre des fils en acier. Bien entendu, la composition de l'acier du fil en ses différents éléments (par exemple C, Mn, Si) est la même que celle de l'acier du fil de départ.

On rappelle que, lors du procédé de fabrication des fils, le revêtement de laiton facilite le tréfilage du fil, ainsi que le collage du fil avec le caoutchouc. Bien entendu, les fils pourraient être recouverts d'une fine couche métallique autre que du laiton, ayant par exemple pour fonction d'améliorer la résistance à la corrosion de ces fils et/ou leur adhésion au caoutchouc, par exemple une fine couche de Co, Ni, Zn, Al, d'un alliage de deux ou plus des composés Cu, Zn, Al, Ni, Co, Sn.

III-2. Réalisation des câbles

Les fils précédents sont ensuite assemblés sous forme de câbles à couches, de structure [1+5+10] pour le câble conforme à l'invention (câble noté C-I), de structure [1+6+12] pour le câble de l'art antérieur (câble noté C-II) ; les fils F1 sont utilisés pour former l'âme C0 de ces câbles C-I et C-II, ainsi que les couches C1 et C2 du câble C-I conforme à l'invention, tandis que les fils F2 sont utilisés pour former les couches C1 et C2 du câble témoin C-II.

Ces câbles sont fabriqués avec des dispositifs de câblage (câbleuse Barnag) et selon des procédés bien connus de l'homme du métier qui ne sont pas décrits ici pour la simplicité de l'exposé. Le câble C-II est réalisé en une seule opération de câblage ($p_1 = p_2$) alors que le câble C-I nécessite, en raison de pas p_1 et p_2 différents, deux opérations successives (fabrication d'un câble [1+5] puis câblage de la dernière couche autour de ce câble [1+5]), ces deux opérations pouvant avantageusement être réalisées en ligne à l'aide de deux câbleuses disposées en série.

Le câble C-I conforme à l'invention présente les caractéristiques suivantes:

- structure [1+5+10]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0,200$;
- $(d_0 / d_1) = 1,00$;
- $p_1 = 8$ (Z) ; $p_2 = 11$ (Z).

Le câble C-II témoin présente les caractéristiques suivantes:

- structure [1+6+12]
- $d_0 = 0,200$;
- $d_1 = d_2 = 0,175$;
- $(d_0 / d_1) = 1,14$;
- $p_1 = 10$ (Z) ; $p_2 = 10$ (Z).

Quels que soient les câbles, les fils F2 des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion (direction Z).

Les deux câbles testés sont dépourvus de frette et ont un diamètre d'environ 1,0 mm pour le câble C-I, d'environ 0,90 mm pour le câble C-II. L'âme de ces câbles a pour diamètre d_0 le même diamètre que celui de son fil unique F1, pratiquement dépourvu de torsion sur lui-même.

Le câble de l'invention C-I est un câble à couches tubulaires tel que schématisé en coupe transversale sur la figure 1, déjà commentée précédemment. Il se distingue des câbles usuels de l'art antérieur notamment par le fait que ses couches intermédiaire C1 et externe C2 comportent, respectivement, un et deux fils en moins qu'un câble conventionnel saturé, et que ses pas p_1 et p_2 sont différents tout en vérifiant par ailleurs la relation (v) précitée. Dans ce câble C-I, N est inférieur de 2 au nombre maximal (ici $N_{\max} = 12$) de fils enroulables en une couche unique saturée autour de la couche C1.

Le câble témoin C-II est un câble à couches compact tel que schématisé sur la figure 2. On voit notamment sur cette coupe transversale de la figure 2 que le câble C-II, bien que de construction voisine, a en raison de son mode de câblage (fils enroulés dans le même sens et pas p_1 et p_2 égaux) une structure beaucoup plus compacte que celle du câble C-I ; il en résulte qu'aucune couche tubulaire de fils n'est visible pour ce câble, la section transversale de ce câble C-II ayant un contours E qui n'est plus circulaire mais hexagonal.

On note que le câble de l'invention C-I ($M=5$) vérifie bien les caractéristiques suivantes:

- (i) $0,08 < d_0 < 0,28$;
- (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$;
- (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$;
- (iv) pour $M = 4$: $0,40 < (d_0 / d_1) < 0,80$;
pour $M = 5$: $0,70 < (d_0 / d_1) < 1,10$;
- (v) $4,8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion.

Ce câble C-I vérifie par ailleurs chacune des relations préférentielles suivantes:

- $d_2 > 0,17$;
- $d_1 \leq 0,26$;
- $0,14 < d_0 < 0,25$;
- $6 < p_1 < p_2 < 14$.

Il vérifie en outre chacune des relations (vii) et (viii) supra.

Les propriétés mécaniques des câbles C-I et C-II sont indiquées dans le tableau 2 ci-après:

Tableau 2

Câble	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
C-I	1250	2.6	2650
C-II	1255	2.8	2750

L'allongement At indiqué pour le câble est l'allongement total enregistré à la rupture du câble, c'est-à-dire intégrant à la fois la partie élastique de l'allongement (loi de Hooke), la partie plastique de l'allongement et la partie dite structurale de l'allongement inhérente à la géométrie spécifique du câble testé.

III-3. Tests d'endurance (test courroie)

Les câbles à couches précédents sont incorporés par calandrage à un tissu caoutchouté formé d'une composition connue à base de caoutchouc naturel et de noir de carbone à titre de charge renforçante, utilisée conventionnellement pour la fabrication des nappes d'armature de carcasse des pneumatiques Poids-lourd radiaux (module M10 égal à 6 MPa environ. après cuisson). Cette composition comporte essentiellement, en plus de l'élastomère et de la charge renforçante, un antioxydant, de l'acide stéarique, une huile d'extension, du naphthénate de cobalt en tant que promoteur d'adhésion, enfin un système de vulcanisation (soufre, accélérateur, ZnO). Dans le tissu de caoutchouc, les câbles sont disposés parallèlement de manière connue, selon une densité de câbles de l'ordre de 63 câbles par dm (décimètre) de nappe, ce qui, compte tenu du diamètre des câbles, équivaut à une largeur "ℓ" des ponts de caoutchouc, entre deux câbles adjacents, d'environ 0,6 mm pour le câble de l'invention, d'environ 0,7 mm pour le câble témoin.

On fait subir aux tissus ainsi préparés le test courroie décrit au paragraphe I-3. Après fatigue, on réalise un décorticage c'est-à-dire une extraction des câbles hors des courroies. Les câbles sont alors soumis à des essais de traction, en mesurant à chaque fois la force-rupture résiduelle (câble extrait de la courroie après fatigue) de chaque type de fil, selon la position du fil dans le câble, et pour chacun des câbles testés, et en la comparant à la force-rupture initiale (câbles extraits des courroies neuves).

Les déchéances moyennes ΔF_m sont données en % dans le tableau 3 ; elles sont calculées à la fois pour les fils d'âme (C0) et pour les fils des couches C1 et C2. Les déchéances ΔF_m globales sont mesurées aussi sur les câbles eux-mêmes.

Tableau 3

Câble	ΔF_m (%)			
	C0	C1	C2	Câble
C-I	14	11	7	8
C-II	26	19	10	14

A la lecture du tableau 3, on constate que, quelle que soit la zone du câble analysée (âme C0, couches C1 ou C2), les meilleurs résultats sont enregistrés sur le câble C-I conforme à l'invention. Si les déchéances ΔF_m restent assez voisines en ce qui concerne la couche externe C2 (bien que plus faibles dans le câble selon l'invention), on note que plus on pénètre à l'intérieur du câble (couche C1 et âme C0), plus les écarts se creusent en faveur du câble conforme à l'invention ; les déchéances ΔF_m de l'âme et de la couche C1 sont quasiment deux fois plus faibles dans le câble de l'invention. La déchéance globale du câble de l'invention est sensiblement inférieure à celle du câble témoin (8% au lieu de 14%).

Corrélativement aux résultats ci-dessus, un examen visuel des différents fils montre que les phénomènes d'usure ou fretting (érosion de matériel aux points de contact), qui résultent du

frottement répété des fils entre eux, sont nettement réduits dans le câble C-I par rapport au câble C-II.

5 Ces résultats sont inattendus dans la mesure où l'homme du métier pouvait s'attendre au contraire à ce que le choix de pas d'hélice p_1 et p_2 différents dans le câble conforme à l'invention, et donc la présence d'angles de contact différents entre les couches C1 et C2 - qui ont pour effet de diminuer les surfaces de contact et donc d'augmenter les pressions de contact entre les fils des couches C1 et C2 - se traduisent au contraire par une augmentation du frottement et donc de l'usure entre les fils, et finalement pénalisent le câble selon l'invention. Il
10 n'en est rien.

III-4. Tests de perméabilité à l'air

15 Les résultats d'endurance décrits précédemment apparaissent bien corrélés au taux de pénétrabilité des câbles par le caoutchouc, comme expliqué ci-après.

Les câbles C-I et C-II non fatigués (après extraction hors des courroies neuves) ont été soumis au test de perméabilité à l'air décrit au paragraphe I-2, en mesurant la quantité d'air traversant les câbles en 1 minute (moyenne de 10 mesures). Les indices de perméabilité Pa obtenus sont
20 reportés dans le tableau 4 (en unités relatives) ; les valeurs indiquées correspondent à la moyenne de 10 prélèvements réalisés en des points différents des courroies, la base 100 étant retenue pour les câbles témoins C-II.

Tableau 4

Câble	Pa moyen
C-I	17
C-II	100

25

On note que le câble conforme à l'invention présente un indice de perméabilité à l'air Pa nettement plus bas (facteur 5 environ) que celui du témoin C-II, et en conséquence un taux de pénétration par le caoutchouc nettement plus élevé.

30

Sa construction spécifique rend possible, lors du moulage et/ou de la cuisson des pneumatiques, une migration quasiment complète du caoutchouc à l'intérieur de câble. jusqu'au coeur de ce dernier, sans formation de canaux vides. Le câble, ainsi rendu
35 imperméable par le caoutchouc, se trouve protégé des flux d'oxygène et d'humidité qui transitent par exemple depuis les flancs ou la bande de roulement des pneumatiques vers les zones de l'armature de carcasse, où le câble de manière connue est soumis au travail mécanique le plus intense.

40

III-5. Autres câbles et tests d'endurance (test traction ondulée et test courroie)

Dans cette nouvelle série d'essais, on prépare trois câbles à couches, notés C-III à C-V, de construction [1+5+10], ces câbles étant conformes ou non à l'invention, pour les soumettre au test de fatigue en traction ondulée (paragraphe I-4).

Ces câbles, préparés à partir des fils F1 précédemment décrits, ont les caractéristiques qui suivent.

- 5 • Câble C-III (conforme à l'invention):
 - structure [1+5+10]
 - $d_0 = d_1 = d_2 = 0,200$;
 - $(d_0 / d_1) = 1,00$;
 - $p_1 = 8$ (S) ; $p_2 = 11$ (S).
- 10 • Câble C-IV (témoin):
 - structure [1+5+10]
 - $d_0 = d_1 = d_2 = 0,200$;
 - $(d_0 / d_1) = 1,00$;
 - $p_1 = 5,5$ (S) ; $p_2 = 11$ (S).
- 15 • Câble C-V (témoin):
 - structure [1+5+10]
 - $d_0 = d_1 = d_2 = 0,200$;
 - $(d_0 / d_1) = 1,00$;
 - 20 - $p_1 = 7,5$ (S) ; $p_2 = 15$ (S).

Le câble C-III a une construction similaire à celle du câble C-I précédemment testé.

25 Des câbles de structure [1+5+10] proche ou similaire à celle des câbles témoin C-IV ou C-V ci-dessus, se caractérisant entre autres par un pas p_2 double du pas p_1 , sont connus de l'homme du métier ; ils ont par exemple été décrits dans les demandes EP-A-0 675 223 ou EP-A-0 744 490 précitées. Ces câbles connus ne vérifient pas l'ensemble des caractéristiques (i) à (vi) des câbles de l'invention, en particulier la caractéristique essentielle (v) relative au décalage entre les pas p_1 et p_2 .

30 Aucun des trois câbles testés ne comporte de frette. Leurs propriétés sont celles indiquées dans le tableau 5 ci-dessous:

Tableau 5

Câble	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
C-III	1234	2.4	2560
C-IV	1213	2.3	2530
C-V	1220	2.0	2545

35

Ces trois câbles ont donc des constructions et des propriétés mécaniques à la rupture qui sont très voisines : dans les trois cas, N est inférieur de 2 au nombre maximal (ici $N_{\max} = 12$) de fils enroulables en une couche unique saturée autour de la couche C1 ; ils ont tous une construction à couches tubulaires comme illustré à la figure 1 ; les pas p_1 et p_2 sont différents dans chaque câble.

40

Cependant, seul le câble C-III vérifie la relation (v) précitée, ainsi que les caractéristiques préférentielles des relations (vii) et (viii).

5 Au test de fatigue en traction ondulée, ces trois câbles ont donné les résultats du tableau 6 ; σ_d y est exprimée en MPa ainsi qu'en unités relatives (u.r.), la base 100 étant retenue pour le câble de l'invention C-III.

Tableau 6

Câble	σ_d (MPa)	σ_d (u.r.)
C-III	655	100
C-IV	600	92
C-V	565	86

10

On note que, malgré des constructions très proches, le câble de l'invention C-III se distingue par une endurance en fatigue sensiblement supérieure à celle des câbles témoins, en particulier à celle du câble témoin C-IV dont il faut noter que seul le pas p_1 diffère (5,5 mm au lieu de 8 mm).

15

Les trois câbles de cet essai ont été par ailleurs soumis au test courroie précédemment appliqué aux câbles C-I et C-II (paragraphe III-4). Ils ont tous montré une très bonne performance, proche en termes de déchéance globale du câble (ΔF_m au plus égale à 10%). Toutefois, c'est sur le câble de l'invention que l'on a enregistré l'usure moyenne la plus faible pour les fils de la couche périphérique C2 ; ce résultat amélioré doit être souligné car, dans ce type de câble, c'est bien la couche C2 qui comporte le plus grand nombre de fils et donc supporte l'essentiel de la charge.

20

En résumé, l'endurance globalement améliorée du câble de l'invention C-III, comparée aux câbles témoin C-IV et C-V de constructions très proches, doit être attribuée ici, en premier lieu, à une optimisation des rapports des angles d'hélice (écart entre les pas p_1 et p_2) que forment les fils des couches C1 et C2. Grâce à cela, est obtenu un compromis de résultats encore meilleur vis-à-vis d'une part de la pénétrabilité du câble par le caoutchouc et des forces de contact entre les différentes couches.

25

30

III-6. Endurance en pneumatique

On réalise ici un essai de roulage sur des pneumatiques Poids-lourd destinés à être montés sur une jante à sièges plats, de dimension 12.00 R 20 XZE.

35

Tous les pneus testés sont identiques, à l'exception des câbles à couches qui renforcent leur armature de carcasse 7 (voir figure 3).

Les câbles utilisés pour l'armature de carcasse 7 ont les caractéristiques qui suivent :

- Câble C-VI (conforme à l'invention – 17 fils + 1 fil de frette):
 - structure [1+5+11]
 - $d_0 = d_2 = 0,230$;
 - $d_1 = 0,260$;
 - 5 - $(d_0 / d_1) = 0,88$;
 - $p_1 = 7,5$ (S) ; $p_2 = 15$ (S).
- Câble C-VII (témoin – 27 fils + 1 fil de frette):
 - structure [3+9+15]
 - 10 - $d_0 = d_1 = d_2 = 0,230$;
 - $p_0 = 6,5$ (S) ; $p_1 = 12,5$ (S) ; $p_2 = 18,0$ (Z).

Le câble de l'invention C-VI est constitué d'un fil d'âme de diamètre 0,23 mm, entouré d'une couche intermédiaire de 5 fils enroulés ensemble en hélice (direction S) selon un pas de 7,5 mm, elle-même entourée d'une couche externe de 11 fils eux-mêmes enroulés ensemble en hélice (direction S) selon un pas de 15 mm. Ce câble C-VI est fretté par un fil unique de diamètre 0,15 mm ($R_m = 2800$ MPa) enroulé en hélice (direction Z) selon un pas de 5 mm. Dans ce câble conforme à l'invention, N est inférieur de 1 au nombre maximal (ici $N_{max} = 12$) de fils enroulables en une couche unique saturée autour de la couche C1. Il vérifie la relation (v) sans toutefois vérifier les relations préférentielles (vii) et (viii). Pour augmenter encore sa pénétrabilité par le caoutchouc, les fils de la couche C1 ont été choisis de diamètre supérieur à ceux de la couche C2 dans un rapport (d_1/d_2) préférentiel compris entre 1,10 et 1,20. Le diamètre du câble (encombrement total) est égal à environ 1,49 mm.

25 A l'exception du fil de frette (acier à 0,7% de carbone), tous les fils du câble C-VI, notés F3 et F4 dans le tableau 7 ci-après, ont été réalisés à partir d'un acier à plus haut taux de carbone (0,82% au lieu de 0,71% pour le câble témoin) pour compenser, en partie, la diminution du nombre de fils par une augmentation de résistance de l'acier.

30 Le câble C-VII a été choisi comme témoin pour cet essai de roulage, en raison de ses performances reconnues par l'homme du métier pour le renforcement des pneumatiques Poids-lourd de grandes dimensions. Des câbles de structure identique ou similaire ont par exemple été décrits dans les demandes précitées EP-A-0 497 612, EP-A-0 669 421, EP-A-0 675 223, EP-A-0 709 236 ou encore EP-A-0 779 390, pour illustrer l'art antérieur dans ce domaine. Le
35 câble C-VII est constitué de 27 fils (notés F5 dans le tableau 7) de même diamètre 0,23 mm, avec une âme de 3 fils enroulés ensemble en hélice (direction S) selon un pas de 6,5 mm, cette âme étant entourée d'une couche intermédiaire de 9 fils eux-mêmes enroulés ensemble en hélice (direction S) selon un pas de 12,5 mm, elle-même entourée d'une couche externe de 15 fils eux-mêmes enroulés ensemble en hélice (direction Z) selon un pas de 18,0 mm. Ce câble
40 C-VII est fretté par un fil unique de diamètre 0,15 mm ($R_m = 2800$ MPa) enroulé en hélice (direction S) selon un pas de 3,5 mm. Son diamètre (encombrement total) est égal à environ 1,65 mm.

45 Les fils F3, F4 et F5 sont des fils laitonnés, préparés de manière connue comme indiqué précédemment au paragraphe III-1 pour les fils F1 F2. Les deux câbles testés et leurs fils constitutifs ont les propriétés mécaniques indiquées dans le tableau 7.

Tableau 7

Fil ou Câble	ϕ (mm)	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
F3	0.23	125	1.8	3100
F4	0.26	165	1.8	3070
F5	0.23	115	1.8	2840
C-VI	1.49	2195	2.8	2830
C-VII	1.65	2870	2.7	2580

5 L'armature de carcasse 7 des pneumatiques testés est constituée d'une seule nappe radiale formée des tissus caoutchoutés du même type que ceux utilisés précédemment pour le test courroie (paragraphe III-3 précédent) : composition à base de caoutchouc naturel et de noir de carbone, présentant un module M10 de 6 MPa environ.

10 L'armature 7 est renforcée soit par les câbles conformes à l'invention (C-VI), soit par les câbles témoins (notés C-VII). Le tissu conforme à l'invention comporte environ 53 câbles par dm de nappe, ce qui équivaut à une distance entre deux câbles radiaux adjacents, d'axe en axe, d'environ 1,9 mm et à une largeur ℓ de pont de gomme égale à environ 0,41 mm. Le tissu témoin comporte environ 45 câbles par dm de nappe, ce qui équivaut à une distance entre deux câbles radiaux adjacents, d'axe en axe, d'environ 2,2 mm et à une largeur ℓ égale à
15 environ 0,55 mm.

La masse de métal, dans l'armature de carcasse du pneumatique conforme à l'invention est ainsi réduite de 23% par rapport au pneumatique témoin, ce qui constitue un allègement très sensible. Corrélativement, grâce à l'emploi d'un acier type "HR" (0,82% carbone) pour les fils
20 du câble C-VI, la diminution de résistance du tissu conforme à l'invention n'est réduite que de 13% environ.

Quant à l'armature de sommet 6, elle est de manière connue constituée de (i) deux nappes de travail superposées croisées, renforcées de câbles métalliques inclinés de 22 degrés, ces deux
25 nappes de travail étant recouvertes par (ii) une nappe sommet de protection renforcée de câbles métalliques élastiques inclinés de 22 degrés. Dans chacune de ces nappes d'armature sommet, les câbles métalliques utilisés sont des câbles conventionnels connus, disposés sensiblement parallèlement les uns par rapport aux autres, et tous les angles d'inclinaison indiqués sont mesurés par rapport au plan circonférentiel médian.

30 Une série de deux pneumatiques (notés P-1) a été renforcée par le câble C-VI, une autre série de deux pneumatiques (notés P-2) a été renforcée par le câble témoin C-VII. Dans chaque série, un pneumatique est destiné au roulage, l'autre au décorticage sur pneumatique neuf. Les pneumatiques P-1 constituent donc la série conforme à l'invention, les pneumatiques P-2 la
35 série témoin.

On fait subir à ces pneumatiques un test de roulage sévère tel que décrit au paragraphe I-5, avec un total de 150 000 km parcourus. La distance imposée à chaque type de pneumatique est très élevée ; elle équivaut à un roulage en continu d'une durée de trois mois environ et à
40 50 millions de cycles de fatigue.

Malgré ces conditions de roulage très sévères, les deux pneumatiques testés roulent sans dommage jusqu'au bout du test, en particulier sans rupture des câbles de la nappe de carcasse; ceci illustre notamment pour l'homme du métier la performance élevée des deux types de pneumatiques, y compris des pneumatiques témoins.

5

Après roulage, on réalise un décorticage c'est-à-dire une extraction des câbles hors des pneumatiques. Les câbles sont alors soumis à des essais de traction, en mesurant à chaque fois la force-rupture initiale (câble extrait du pneumatique neuf) et la force-rupture résiduelle (câble extrait du pneumatique ayant roulé) de chaque type de fil, selon la position du fil dans le câble, et pour chacun des câbles testés. La déchéance moyenne ΔF_m donnée en % dans le tableau 8, est calculée à la fois pour les fils d'âme (C0) et pour les fils des couches C1 et C2. Les déchéances ΔF_m globales sont également mesurées sur les câbles eux-mêmes.

10

Tableau 8

Câble	ΔF_m (%)			
	C0	C1	C2	Câble
C-VI	7	11	18	15
C-VII	7	22	16	17

15

A la lecture du tableau 8, on constate que l'armature de carcasse du pneumatique conforme à l'invention, bien que très sensiblement allégée, ainsi que les câbles métalliques de l'invention qui la renforcent, bien que nettement plus petits, présentent une endurance globale équivalente à celle de la solution témoin, avec de surcroît un autre avantage de l'invention résidant dans une usure moindre (moitié moins) des fils de la couche C1 ; cette usure moindre des fils de la couche C1 est vraisemblablement due à la construction optimisée du câble de l'invention, à savoir un enroulement dans le même sens (ici S/S) des couches C1 et C2, contrairement à la construction croisée (S/Z) des couches C1 et C2 du câble témoin.

20

25

Les câbles C-VI et C-VII non fatigués (après extraction hors des pneus neufs) ont été soumis par ailleurs au test de perméabilité à l'air (paragraphe I-2). Les résultats du tableau 9 soulignent clairement, si besoin était, la supériorité du câble de l'invention ; les indices de perméabilité Pa sont exprimés en unités relatives, la base 100 étant inchangée par rapport au tableau 4 précédent (base 100 pour le câble témoin C-II).

30

Tableau 9

Câble	Pa moyen
C-VI	1
C-VII	> 370

En conclusion, comme le démontrent clairement les différents essais qui précèdent, les câbles de l'invention permettent de réduire de manière notable les phénomènes de fatigue-fretting-corrosion dans les armatures de carcasse des pneumatiques, en particulier des pneumatiques Poids-lourd, et d'améliorer ainsi la longévité de ces armatures et pneumatiques.

35

Ainsi, à durée de vie équivalente, l'invention permet de réduire la taille des câbles et ainsi d'alléger ces armatures de carcasse et ces pneumatiques.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation précédemment décrits.

5

C'est ainsi par exemple que l'âme C0 des câbles de l'invention pourrait être constituée d'un fil à section non circulaire, par exemple déformé plastiquement, notamment un fil de section sensiblement ovale ou polygonale, par exemple triangulaire, carrée ou encore rectangulaire ; l'âme C0 pourrait aussi être constituée d'un fil préformé, de section circulaire ou non, par
10 exemple un fil ondulé, vrillé, tordu en forme d'hélice ou en zig-zag. Dans de tels cas, il faut bien sûr comprendre que le diamètre d_0 de l'âme représente le diamètre du cylindre de révolution imaginaire qui entoure le fil d'âme (diamètre d'encombrement), et non plus le diamètre (ou toute autre taille transversale, si sa section n'est pas circulaire) du fil d'âme lui-même. Il en serait de même si l'âme C0 était formée non pas d'un seul fil comme dans les
15 exemples précédents, mais de plusieurs fils assemblés entre eux, par exemple de deux fils disposés parallèlement l'un à l'autre ou bien tordus ensemble, dans une direction de torsion identique ou non à celle de la couche intermédiaire C1.

Pour des raisons de faisabilité industrielle, de coût et de performance globale, on préfère
20 toutefois mettre en oeuvre l'invention avec un seul fil d'âme linéaire conventionnel, de section circulaire.

D'autre part, le fil d'âme étant moins sollicité lors de l'opération de câblage que les autres fils, compte tenu de sa position dans le câble, il n'est pas nécessaire pour ce fil d'employer par
25 exemple des compositions d'acier offrant une ductilité en torsion élevée ; on pourra avantageusement utiliser tout type d'acier, par exemple un acier inoxydable, afin d'aboutir par exemple à un câble d'acier hybride [1+5+10] ou [1+5+11], comme enseigné dans la demande WO98/41682 précitée, comportant un fil en acier inoxydable au centre et 15 ou 16 fils en acier au carbone autour.

30

Bien entendu, un (au moins un) fil linéaire d'une des deux couches C1 et/ou C2 pourrait lui aussi être remplacé par un fil préformé ou déformé, ou plus généralement par un fil de section
35 différente de celle des autres fils de diamètre d_1 et/ou d_2 , de manière par exemple à améliorer encore la pénétrabilité du câble par le caoutchouc ou toute autre matière, le diamètre d'encombrement de ce fil de remplacement pouvant être inférieur, égal ou supérieur au diamètre (d_1 et/ou d_2) des autres fils constitutifs de la couche (C1 et/ou C2) concernée.

Sans que l'esprit de l'invention soit modifié, tout ou partie des fils constituant le câble conforme à l'invention pourrait être constitué de fils autres que des fils en acier, métalliques
40 ou non, notamment de fils en matière minérale ou organique à haute résistance mécanique, par exemple des monofilaments en polymères organiques cristaux liquides tels que décrits dans la demande WO92/12018.

L'invention concerne également tout câble d'acier multitorons ("*multi-strand rope*") dont la
45 structure incorpore au moins, en tant que toron élémentaire, un câble à couches conforme à l'invention.

REVENDICATIONS

1. Câble multicouches à couche externe insaturée, utilisable comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatique, comportant une âme (notée C0) de diamètre d_0 entourée d'une couche intermédiaire (notée C1) de quatre ou cinq fils ($M = 4$ ou 5) de diamètre d_1 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_1 , cette couche C1 étant elle-même entourée d'une couche externe (notée C2) de N fils de diamètre d_2 enroulés ensemble en hélice selon un pas p_2 , N étant inférieur de 1 à 3 au nombre maximal N_{\max} de fils enroulables en une couche autour de la couche C1, ce câble étant caractérisé en ce qu'il présente les caractéristiques suivantes (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 et p_2 en mm):
 - (i) $0,08 < d_0 < 0,28$;
 - (ii) $0,15 < d_1 < 0,28$;
 - (iii) $0,12 < d_2 < 0,25$;
 - (iv) pour $M = 4$: $0,40 < (d_0 / d_1) < 0,80$;
pour $M = 5$: $0,70 < (d_0 / d_1) < 1,10$;
 - (v) $4,8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
 - (vi) les fils des couches C1 et C2 sont enroulés dans le même sens de torsion.
2. Câble selon la revendication 1, de construction $[1+M+N]$, dont l'âme est constituée d'un seul fil.
3. Câble selon la revendication 2, choisi parmi les câbles de constructions $[1+4+8]$, $[1+4+9]$, $[1+4+10]$, $[1+5+9]$, $[1+5+10]$ et $[1+5+11]$.
4. Câble selon les revendications 2 ou 3, de construction $[1+5+N]$.
5. Câble selon la revendication 4, de construction $[1+5+10]$ ou $[1+5+11]$.
6. Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les pas p_1 et p_2 sont compris dans un domaine de 5 à 15 mm.
7. Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, vérifiant la relation suivante:
$$0,15 < d_2 < 0,25 .$$
8. Câble selon la revendication 7, vérifiant les relations suivantes:
 - $0,14 < d_0 < 0,25$;
 - $d_2 > 0,17$;
 - $d_1 \leq 0,26$.

9. Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il s'agit d'un câble d'acier.
10. Câble selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'acier est un acier au carbone.
11. Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, vérifiant la relation:
- $$5,0 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5,0 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2) .$$
12. Câble selon la revendication 11, vérifiant la relation:
- $$5,3 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4,7 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2) .$$
13. Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel le rapport (d_1/d_2) est compris entre 1,05 et 1,30.
14. Câble selon la revendication 13, dans lequel le rapport (d_1/d_2) est compris entre 1,10 et 1,20.
15. Utilisation d'un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 comme élément de renforcement d'articles ou de produits semi-finis en matière plastique et/ou en caoutchouc.
16. Utilisation d'un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatique destiné à des véhicules industriels choisis parmi camionnettes, Poids-lourds, engins agricoles ou de génie civil, avions, autres véhicules de transport ou de manutention.
17. Pneumatique Poids-lourd dont l'armature de carcasse comporte un câble conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 14.
18. Tissu composite utilisable comme nappe d'armature de carcasse de pneumatique Poids-lourd, comportant une matrice de composition de caoutchouc renforcée d'un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 14.
19. Tissu selon la revendication 18, sa densité de câbles étant comprise entre 40 et 100 câbles par dm de tissu.
20. Tissu selon la revendication 19, la densité de câbles étant comprise entre 50 et 80 câbles par dm de tissu.
21. Tissu selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, la largeur notée ℓ du pont de composition de caoutchouc, entre deux câbles adjacents, étant comprise entre 0,35 et 1 mm.
22. Tissu selon la revendication 21, la largeur ℓ étant comprise entre 0,4 et 0,8 mm.

23. Tissu selon l'une quelconque des revendications 18 à 22, la composition de caoutchouc présentant, à l'état vulcanisé, un module sécant en extension M10 qui est inférieur à 8 MPa.
24. Tissu selon la revendication 23, la composition de caoutchouc présentant, à l'état vulcanisé, un module M10 compris entre 4 et 8 MPa.
25. Tissu selon l'une quelconque des revendications 18 à 24, le caoutchouc étant du caoutchouc naturel.
26. Pneumatique Poids-lourd dont l'armature de carcasse comporte, à titre de nappe renforçante, au moins un tissu selon l'une quelconque des revendications 18 à 25.

1/2

Fig. 1

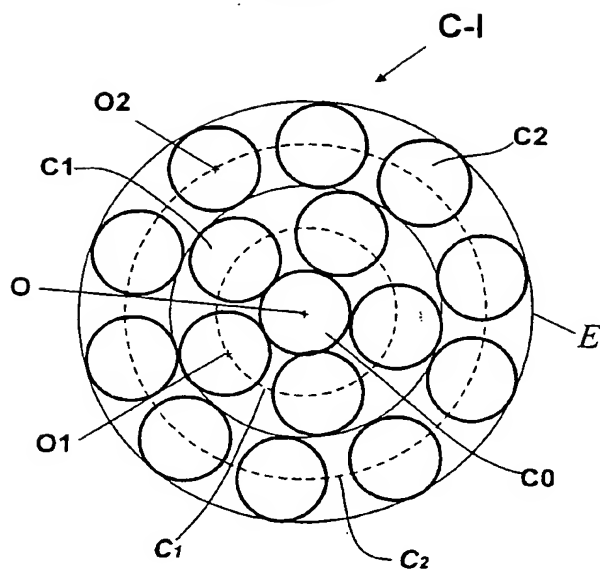
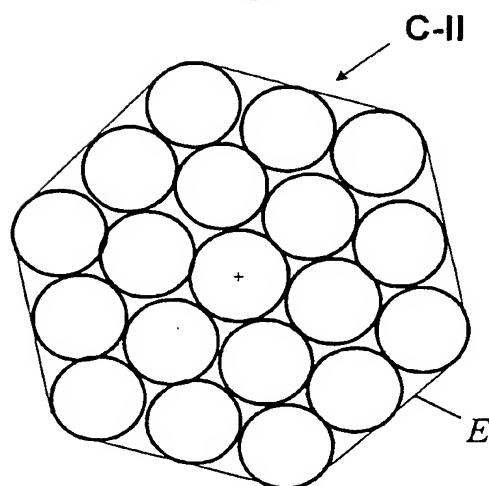
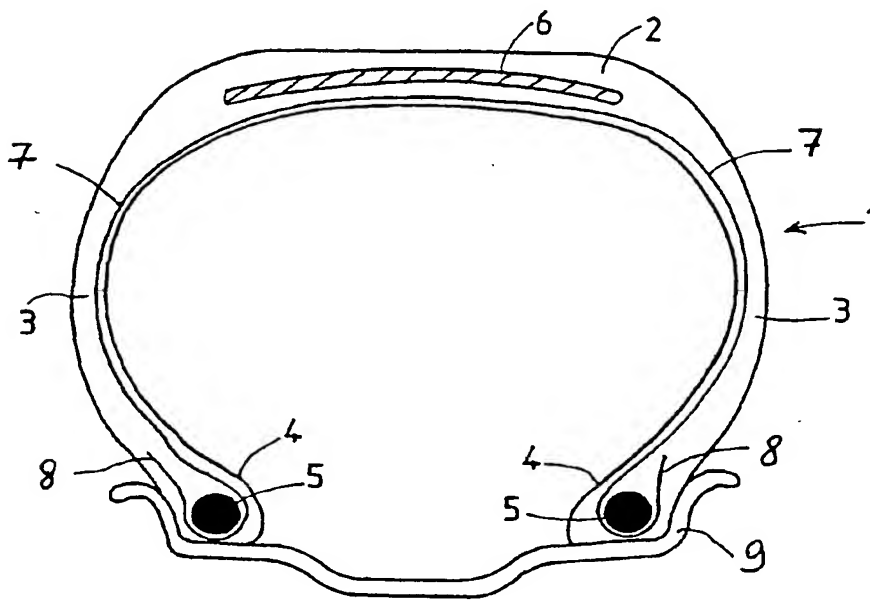


Fig. 2



2/2

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/13290

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 D07B1/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 D07B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 675 223 A (N.V. BEKAERT S.A.) 4 October 1995 (1995-10-04) claims 1-4,7 page 3, line 31 - line 58 ---	1-5,9,15
A	EP 0 744 490 A (BRIDGESTONE METALPHA CORPORATION) 27 November 1996 (1996-11-27) cited in the application claims 13,14 embodiment C; figure 10 ---	1-10,15
A	WO 98 41682 A (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES ÉTABLISSEMENTS MICHELIN - MICHELIN & CIE) 24 September 1998 (1998-09-24) cited in the application page 11, line 30 - page 12, line 2 page 15, line 28 - line 44 claims 24-27 -----	1-10,15

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 April 2001

Date of mailing of the international search report

07/05/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Goodall, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 00/13290

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0675223	A	04-10-1995	NONE	
EP 0744490	A	27-11-1996	JP 8325965 A	10-12-1996
			JP 9143890 A	03-06-1997
			JP 9170183 A	30-06-1997
			US 5806296 A	15-09-1998
			US 5873962 A	23-02-1999
			US 5822973 A	20-10-1998
WO 9841682	A	24-09-1998	AU 6729798 A	12-10-1998
			BR 9808020 A	08-03-2000
			CN 1250498 T	12-04-2000
			EP 0966562 A	29-12-1999

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demr : Internationale No

PCT/EP 00/13290

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 D07B1/06

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB.

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 D07B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 675 223 A (N.V. BEKAERT S.A.) 4 octobre 1995 (1995-10-04) revendications 1-4,7 page 3, ligne 31 - ligne 58	1-5,9,15
A	EP 0 744 490 A (BRIDGESTONE METALPHA CORPORATION) 27 novembre 1996 (1996-11-27) cité dans la demande revendications 13,14 embodiment C; figure 10	1-10,15
A	WO 98 41682 A (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES ÉTABLISSEMENTS MICHELIN - MICHELIN & CIE) 24 septembre 1998 (1998-09-24) cité dans la demande page 11, ligne 30 -page 12, ligne 2 page 15, ligne 28 - ligne 44 revendications 24-27	1-10,15

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

E document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

L document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

O document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

P document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 avril 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

07/05/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Goodall, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs à : nombres de familles de brevets

Dem. Internationale No

PCT/EP 00/13290

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0675223 A	04-10-1995	AUCUN	
EP 0744490 A	27-11-1996	JP 8325965 A	10-12-1996
		JP 9143890 A	03-06-1997
		JP 9170183 A	30-06-1997
		US 5806296 A	15-09-1998
		US 5873962 A	23-02-1999
		US 5822973 A	20-10-1998
WO 9841682 A	24-09-1998	AU 6729798 A	12-10-1998
		BR 9808020 A	08-03-2000
		CN 1250498 T	12-04-2000
		EP 0966562 A	29-12-1999

P10-1177
Translation for
WO 01/49926 A1

US Appl. NO
10/178,148 f/d
24 June 02

- 1 -

MULTI-LAYER STEEL CABLE FOR TIRE CARCASS

The present application is a continuation of International Application No. PCT/EP00/13290 filed 27 December 2000, published in French with an English Abstract on 12 July 2001 under PCT Article 21(2), which itself claims priority to French Patent Application No. 99/16842 filed 30 December 1999.

The present invention relates to steel cables ("*steel cords*") which can be used for reinforcing rubber articles such as tires. It relates more particularly to the cables referred to as "layered" cables which can be used for reinforcing the carcass reinforcements of tires for industrial vehicles such as truck tires.

Steel cables for tires, as a general rule, are formed of wires of perlitic (or ferro-perlitic) carbon steel, hereinafter referred to as "carbon steel", the carbon content of which is generally between 0.2% and 1.2%, the diameter of these wires most frequently being between 0.10 and 0.40 mm (millimetres). A very high tensile strength is required of these wires, generally greater than 2000 MPa, preferably greater than 2500 MPa, which is obtained owing to the structural hardening which occurs during the phase of work-hardening of the wires. These wires are then assembled in the form of cables or strands, which requires the steels used also to have sufficient ductility in torsion to withstand the various cabling operations.

For reinforcing carcass reinforcements of truck tires, nowadays most frequently so-called "layered" steel cables ("*layered cords*") or "multi-layer" steel cables formed of a central core and one or more concentric layers of wires arranged around this core. These layered cables, which favour greater contact lengths between the wires, are preferred to the older "stranded" cables ("*strand cords*") owing firstly to greater compactness, and secondly to lesser sensitivity to wear by fretting. Among layered cables, a distinction is made in particular, in known manner, between compact-structured cables and cables having tubular or cylindrical layers.

The layered cables most widely found in the carcasses of truck tires are cables of the formula (L+M) or (L+M+N), the latter generally being intended for the largest tires. These cables are formed, in known manner, of a core of L wire(s) surrounded by at least one layer of M wires which may itself be surrounded by an outer layer of N wires, with generally L varying from 1 to 4, M varying from 3 to 12, N varying from 8 to 20, if applicable; the assembly may possibly be wrapped by an external wrapping wire wound in a helix around the last layer.

Such layered cables which can be used for reinforcing carcass reinforcements of radial tires, in particular of truck tires, have been described in a very large number of publications. Reference will be made in particular to the documents US-A-3,922,841; US-A-4,158,946; US-A-4,488,587; EP-A-0 168 858; EP-A-0 176 139 or US-A-4,651,513; EP-A-0 194 011; EP-A-0 260 556 or US-A-4,756,151; EP-A-0 362 570; EP-A-0 497 612 or US-A-5,285,836; EP-A-0 568 271; EP-A-0 648 891; EP-A-0 669 421 or US-A-5,595,057; EP-A-0 675 223; EP-A-0 709 236 or US-A-5,836,145; EP-A-0 719 889 or US-A-5,697,204; EP-A-0 744 490 or US-A-5,806,296 or US-A-5,822,973; EP-A-0 779 390 or US-A-5,802,829; EP-A-0 834 613

or US-A-6,102,095; WO98/41682; RD (*Research Disclosure*) No. 34054, August 1992, pp. 624-33; RD No. 34370, November 1992, pp. 857-59.

5 In order to fulfil their function as carcass reinforcements for carcasses for radial tires, the layered cables must first of all have good flexibility and high endurance under flexion, which involves in particular their wires being of relatively low diameter, normally less than 0.28 mm, in particular less than that of the wires used in conventional cables for crown reinforcements for tires.

10 These layered cables are furthermore subjected to major-stresses during travel of the tires, in particular to repeated flexure or variations in curvature, which cause friction at the level of the wires, in particular as a result of the contact between adjacent layers, and therefore of wear, and also of fatigue; they must therefore have high resistance to so-called "fatigue-fretting" phenomena.

15 Finally, it is important for them to be impregnated as much as possible with rubber, and for this material to penetrate into all the spaces between the wires forming the cables, because if this penetration is insufficient, there then form empty channels along the cables, and the corrosive agents, for example water, which are likely to penetrate into the tires for example as
20 a result of cuts, move along these channels and into the carcass reinforcement of the tire. The presence of this moisture plays an important part in causing corrosion and in accelerating the above degradation processes (so-called "fatigue-corrosion" phenomena), compared with use in a dry atmosphere.

25 All these fatigue phenomena which are generally grouped together under the generic term "fatigue-fretting-corrosion" are at the origin of gradual degeneration of the mechanical properties of the cables, and may adversely affect the life thereof under very severe running conditions.

30 In order to improve the endurance of layered cables in truck tire carcass reinforcements in which in known manner the repeated flexural stresses may be particularly severe, it has for a long time been proposed to modify the design thereof in order to increase, in particular, their ability to be penetrated by rubber, and thus to limit the risks due to corrosion and to fatigue-corrosion.

35 There have for example been proposed or described layered cables of the construction (3+9) or (3+9+15) which are formed of a core of 3 wires surrounded by a first layer of 9 wires and if applicable a second layer of 15 wires, as described, for example, in EP-A-0 168 858, EP-A-0 176 139, EP-A-0 497 612, EP-A-0 669 421, EP-A-0 709 236, EP-A-0 744 490 and EP-A-0
40 779 390, the diameter of the wires of the core being or not being different from that of the wires of the other layers. These cables cannot be penetrated as far as the core owing to the presence of a channel or capillary at the center of the three core wires, which remains empty after impregnation by the rubber, and therefore favourable to the propagation of corrosive media such as water.

The publication RD No. 34370 describes, for example, cables of the structure [1+6+12], of the compact type or of the type having concentric tubular layers, formed of a core formed of a single wire, surrounded by an intermediate layer of 6 wires which itself is surrounded by an outer layer of 12 wires. The ability to be penetrated by rubber can be improved by using diameters of wires which differ from one layer to the other, or even within one and the same layer. Cables of construction [1+6+12], the ability of which to be penetrated is improved owing to appropriate selection of the diameters of the wires, in particular to the use of a core wire of larger diameter, have been described, for example in EP-A-0 648 891 or WO98/41682.

In order to improve further, relative to these conventional cables, the penetration of the rubber into the cable, there have been proposed or described multi-layer cables having a central core surrounded by at least two concentric layers, in particular cables of the formula [1+M+N] (for example [1+5+10], the outer layer of which is unsaturated (incomplete), thus ensuring better ability to be penetrated by the rubber (see, for example, the aforementioned applications EP-A-0 675 223, EP-A-0 719 889, EP-A-0 744 490 or WO98/41682). The proposed constructions make it possible to dispense with the wrapping wire, owing to better penetration of the rubber through the outer layer and the self-wrapping which results. However, experience shows that these cables are not penetrated right to the center by the rubber, and in any case not adequately.

In any case, an improvement in the ability to be penetrated by the rubber is not sufficient to ensure a sufficient level of performance. When they are used for reinforcing carcass reinforcements of tires, the cables must not only resist corrosion, but also must fulfil a large number of sometimes contradictory criteria, in particular of tenacity, resistance to fretting, high degree of adhesion to rubber, uniformity, flexibility, endurance under repeated flexing, stability under severe flexing, etc.

Thus, for all the reasons set forth previously, and despite the various recent improvements which have been made here or there on such and such a given criterion, the best cables used today in carcass reinforcements for truck tires remain limited to a small number of layered cables of highly conventional structure, of the compact type or the type having cylindrical layers, with a saturated (complete) outer layer; these are essentially cables of constructions [3+9], [3+9+15] or [1+6+12] as described previously.

Now, the Applicant during its research discovered a novel layered cable of the type having an unsaturated outer layer, which unexpectedly improves further the overall performance of the best layered cables known for reinforcing truck tire carcasses. This cable of the invention, owing to a specific structure, not only has excellent ability to be penetrated by the rubber, limiting the problems of corrosion, but also has fatigue-fretting endurance properties which are significantly improved compared with the cables of the prior art.

The longevity of truck tires and that of their carcass reinforcements can thus be substantially improved.

Consequently, a first subject of the invention is a multi-layer cable having a unsaturated outer layer, usable as a reinforcing element for a tire carcass reinforcement, comprising a core (C0) of diameter d_0 surrounded by an intermediate layer (C1) of four or five wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 wound together in a helix at a pitch p_1 , this layer C1 itself being surrounded by an outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 wound together in a helix at a pitch p_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in one layer about the layer C1, this cable being characterised in that it has the following characteristics (d_0, d_1, d_2, p_1 and p_2 in mm):

- 10 - (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
- (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
- (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
- (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
- 15 - (v) for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
- (vi) $4.8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.

20 The invention also relates to the use of a cable according to the invention for reinforcing articles or semi-finished products made of plastics material and/or of rubber, for example plies, tubes, belts, conveyor belts and tires, more particularly tires intended for industrial vehicles which usually use a metal carcass reinforcement.

25 The cable of the invention is very particularly intended to be used as a reinforcing element of a carcass reinforcement for a tire intended for industrial vehicles selected from among vans, "heavy vehicles" - i.e. subway trains, buses, road transport machinery (lorries, tractors, trailers), off-road vehicles - agricultural machinery or construction machinery, aircraft, and other transport or handling vehicles.

30 The invention furthermore relates to these articles or semi-finished products made of plastics material and/or rubber themselves when they are reinforced by a cable according to the invention, in particular tires intended for the industrial vehicles mentioned above, more particularly truck tires, and their carcass reinforcement plies.

35 The invention and its advantages will be readily understood in the light of the description and examples of embodiment which follow, and Figures 1 to 3 relating to these examples, which show, respectively:

- a cross-section through a cable of structure $[1+5+10]$ according to the invention (Figure 1);
- a cross-section through a cable of compact structure of the prior art (Figure 2);
- 40 - a radial section through a truck tire having a radial carcass reinforcement (Figure 3).

I. MEASUREMENTS AND TESTS

I-1. Dynamometric measurements

- 5 As far as the metal wires or cables are concerned, the measurements of breaking load F_m (maximum load in N), of tensile strength R_m (in MPa) and of elongation at break A_t (total elongation in %) are carried out under tension in accordance with ISO Standard 6892 of 1984. As far as the rubber compositions are concerned, the measurements of modulus are carried out under tension in accordance with Standard AFNOR-NFT-46002 of September 1988: the
- 10 nominal secant modulus (or apparent stress, in MPa) is measured in a second elongation (i.e. after an accommodation cycle) at 10% elongation, referred to as M_{10} (normal conditions of temperature and humidity in accordance with Standard AFNOR-NFT-40101 of December 1979).

I-2. Air permeability test

- The air permeability test makes it possible to measure a relative index of air permeability, " P_a ". It is a simple way of indirectly measuring the degree of penetration of the cable by a rubber composition. It is performed on cables extracted directly, by decortication, from the
- 20 vulcanized rubber plies which they reinforce, and which therefore have been penetrated by the cured rubber.

- The test is carried out on a given length of cable (for example 2 cm) as follows: air is sent to the entry of the cable, at a given pressure (for example 1 bar), and the quantity of air is
- 25 measured at the exit, using a flow meter; during the measurement, the sample of cable is locked in a seal such that only the quantity of air passing through the cable from one end to the other, along its longitudinal axis, is taken into account by the measurement. The flow measured is lower, the higher the amount of penetration of the cable by the rubber.

I-3. Belt test

- The "belt" test is a known fatigue test which was described, for example, in applications EP-A-0 648 891 or WO98/41682 mentioned above, the steel cables to be tested being incorporated in a rubber article which is vulcanized.

- 35 The principle thereof is as follows: the rubber article is an endless belt produced with a known rubber-based mixture, similar to those which are currently used for radial tire carcasses. The axis of each cable is oriented in the longitudinal direction of the belt and the cables are separated from the faces of the latter by a thickness of rubber of about 1 mm. When the belt is
- 40 arranged so as to form a cylinder of revolution, the cable forms a helical winding of the same axis as this cylinder (for example, helix pitch equal to about 2.5 mm).

- This belt is then subjected to the following stresses: the belt is rotated around two rollers, such that each elementary portion of each cable is subjected to a tension of 12% of the initial
- 45 breaking load and is subjected to cycles of variation of curvature which make it pass from an infinite radius of curvature to a radius of curvature of 40 mm, and this over 50 million cycles.

The test is carried out under a controlled atmosphere, the temperature and the humidity of the air in contact with the belt being kept at about 20°C and 60% relative humidity. The duration of the stresses for each belt is of the order of 3 weeks. At the end of these stresses, the cables are extracted from the belts by decortication, and the residual breaking load of the wires of the fatigued cables is measured.

Furthermore, a belt is manufactured which is identical to the previous one, and it is decorticated in the same manner as previously, but this time without subjecting the cables to the fatigue test. Thus the initial breaking load of the wires of the non-fatigued cables is measured.

Finally the breaking-load degeneration after fatigue is calculated (referred to as ΔF_m and expressed in %), by comparing the residual breaking load with the initial breaking load.

This degeneration ΔF_m is due in known manner to the fatigue and wear of the wires which are caused by the joint action of the stresses and the water coming from the ambient air, these conditions being comparable to those to which the reinforcement cables are subjected in tire carcasses.

I-4. Undulating traction test

The "undulating traction" test is a fatigue test well-known to the person skilled in the art, in which the material tested is fatigued in a pure uni-axial extension (extension-extension), that is to say without compressive stress.

The principle is as follows: a sample of the cable to be tested, which is held at each of its two ends by the two jaws of a traction machine, is subjected to a tensile or extensional stress, the intensity σ of which varies cyclically and symmetrically ($\sigma_{avg} \pm \sigma_a$) about an average value (σ_{avg}), between two extreme values σ_{min} ($\sigma_{avg} - \sigma_a$) and σ_{max} ($\sigma_{avg} + \sigma_a$) surrounding this average value, at a given ratio of load "R" = ($\sigma_{min}/\sigma_{max}$). The average stress σ_{avg} is therefore linked to the ratio of load R and to the amplitude σ_a by the relationship $\sigma_{avg} = \sigma_a(1+R)/(1-R)$.

In practice, the test is performed as follows: a first amplitude of stress σ_a is selected (generally within a range of the order of 1/4 to 1/3 of the resistance R_m of the cable) and the fatigue test is started for a maximum number of 10^5 cycles (frequency 30 Hz), the load ratio R being set to 0.1. Depending on the result obtained - i.e. breaking or non-breaking of the cable after this maximum of 10^5 cycles - a new amplitude σ_a is applied (less or greater than the previous one, respectively) to a new test piece, by varying this value σ_a in accordance with the so-called steps method (Dixon & Mood; Journal of the American statistical association, 43, 1948, 109-126). Thus a total of 17 iterations are effected, the statistical treatment of the tests which is defined by this steps method resulting in the determination of an endurance limit - σ_d - which corresponds to a 50% probability of breaking of the cable at the end of the 10^5 fatigue cycles.

For this test, a tensile fatigue machine manufactured by Schenck (Model PSA) is used; the useful length between the two jaws is 10 cm; the measurement is effected in a controlled dry atmosphere (amount of relative humidity less than or equal to 5%; temperature 20°C).

I-5. Test of endurance in the tire

5 The endurance of the cables under fatigue-fretting-corrosion is evaluated in carcass plies of truck tires for a very long-duration running test.

10 For this, truck tires are manufactured, the carcass reinforcement of which is formed of a single rubberised ply reinforced by the cables to be tested. These tires are mounted on suitable known rims and are inflated to the same pressure (with an excess pressure relative to nominal pressure) with air saturated with moisture. Then these tires are run on an automatic running machine under a very high load (overload relative to the nominal load) and at the same speed, for a given number of kilometers. At the end of the running, the cables are extracted from the tire carcass by decortication, and the residual breaking load is measured both on the wires and on the cables thus fatigued.

15 Furthermore, tires identical to the previous ones are manufactured and they are decorticated in the same manner as previously, but this time without subjecting them to running. Thus the initial breaking load of the non-fatigued wires and cables is measured after decortication.

20 Finally the breaking-load degeneration after fatigue is calculated (referred to as ΔF_m and expressed in %), by comparing the residual breaking load with the initial breaking load. This degeneration ΔF_m is due to the fatigue and wear (reduction in section) of the wires which are caused by the joint action of the various mechanical stresses, in particular the intense working of the contact forces between the wires, and the water coming from the ambient air, in other words to the fatigue-fretting-corrosion to which the cable is subjected within the tire during running.

30 It may also be decided to perform the running test until forced destruction of the tire occurs, owing to a break in the carcass ply or another type of damage occurring earlier (for example detreading).

II. DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

II-1. Cable of the invention

35 The terms "formula" or "structure", when used in the present description to describe the cables, refer simply to the construction of these cables.

40 The cable of the invention is a multi-layer cable comprising a core (C0) of diameter d_0 , an intermediate layer (C1) of 4 or 5 wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 and an unsaturated outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in a single layer around the layer C1.

45 In this layered cable of the invention, the diameter of the core and that of the wires of the layers C1 and C2, the helix pitches (and hence the angles) and the directions of winding of the

different layers are defined by all the characteristics cited hereafter (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 and p_2 expressed in mm):

- (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
- (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
- (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
- (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
- (v) $4.8 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.

Characteristics (i) to (vi) above, in combination, make it possible to obtain, all at once:

- contact forces which are sufficient but limited between C0 and C1, which are beneficial for reduced wear and less fatigue of the wires of layer C1;
- reduced wear by fretting between the wires of layers C1 and C2, despite the presence of different pitches ($p_1 \neq p_2$) between the two layers C1 and C2;
- due in particular to optimisation of the ratio of the diameters (d_0 / d_1) and the helix angles formed by the wires of layers C1 and C2, optimum penetration of the rubber through layers C1 and C2 and as far as the center C0 of the latter, which firstly ensures very high protection against corrosion or the possible propagation thereof, and secondly minimal disorganisation of the cable under high flexural stress.

Thus, owing to its specific structure, the cable of the invention, which is already self-wrapped, does not generally require the use of an external wrapping wire around the layer C2; this advantageously solves the problems of wear between the wrapping wire and the wires of the outermost layer of the cable.

However, of course, the cable of the invention might also comprise such an external wrap, formed for example of a (at least one) single wire wound in a helix about the outer layer C2, in a helix pitch which is preferably shorter than that of the layer C2, and a direction of winding opposite or identical to that of this outer layer.

In order to reinforce still further the specific wrapping effect provided by the layer C2, the cable of the invention, in particular when it is devoid of such an external wrapping wire, preferably fulfils characteristic (vii) hereafter:

$$(vii) \quad 5.0 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.0 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2).$$

Characteristics (v) and (vi) - different pitches p_1 and p_2 , and layers C1 and C2 wound in the same direction of twist - mean that, in known manner, the wires of layers C1 and C2 are essentially arranged in two adjacent, concentric cylindrical (i.e. tubular) layers. So-called "tubular" or "cylindrical" layered cables are thus understood to be cables formed of a core (i.e. core part or central part) and one or more concentric layers, each tubular in shape, arranged around this core, such that, at least in the cable at rest, the thickness of each layer is substantially equal to the diameter of the wires which form it; as a result, the cross-section of

the cable has a contour or shell (E) which is substantially circular, as illustrated for example in Figure 1.

The cables having cylindrical or tubular layers of the invention must in particular not be confused with so-called "compact" layered cables, which are assemblies of wires wound with the same pitch and in the same direction of twist; in such cables, the compactness is such that practically no distinct layer of wires is visible; as a result, the cross-section of such cables has a contour (E) which is no longer circular, but polygonal, as illustrated for example in Figure 2.

The outer layer C2 is a tubular layer of N wires which is referred to as "unsaturated" or "incomplete", that is to say that, by definition, there is sufficient space in this tubular layer C2 to add at least one $(N+1)$ th wire of diameter d_2 , several of the N wires possibly being in contact with one another. Reciprocally, this tubular layer C2 would be referred to as "saturated" or "complete" if there was not enough space in this layer to add at least one $(N+1)$ th wire of diameter d_2 .

Preferably, the cable of the invention is a layered cable of construction $[1+M+N]$, that is to say that its core is formed of a single wire, as shown, for example, in Figure 1 (cable referenced C-I).

This Figure 1 shows a section perpendicular to the axis (O) of the core and of the cable, the cable being assumed to be rectilinear and at rest. It can be seen that the core C0 (diameter d_0) is formed of a single wire; it is surrounded by and in contact with an intermediate layer C1 of 5 wires of diameter d_1 which are wound together in a helix at a pitch p_1 ; this layer C1, which is of a thickness substantially equal to d_1 , is itself surrounded by and in contact with an outer layer C2 of 10 wires of diameter d_2 which are wound together in a helix at a pitch p_2 , and therefore of a thickness substantially equal to d_2 . The wires wound around the core C0 are thus arranged in two adjacent, concentric, tubular layers (layer C1 of thickness substantially equal to d_1 , then layer C2 of thickness substantially equal to d_2). It can be seen that the wires of layer C1 have their axes (O_1) arranged practically on a first circle C_1 shown by broken lines, whereas the wires of layer C2 have their axes (O_2) arranged practically on a second circle C_2 , also shown by broken lines.

For an even better compromise of results, with regard in particular to the ability of the cable to be penetrated by the rubber and to the contact forces between the different layers, it is preferred that relationship (vii) above be satisfied, namely that the cable of the invention be wrapped or not by an external wrapping wire.

More preferably still, for these same reasons, the cable of the invention satisfies the following relationship:

$$(viii) \quad 5.3 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4.7 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2).$$

By thus offsetting the pitches and therefore the angles of contact between the wires of layer C1 on one hand and those of layer C2 on the other hand, it was noted that the ability of the

cable to be penetrated was improved further by increasing the surface area of the channels for penetrating between these two layers, while optimising its fatigue-fretting performance.

It will be recalled here that, according to a known definition, the pitch represents the length, measured parallel to the axis O of the cable, at the end of which a wire having this pitch makes a complete turn around the axis O of the cable; thus, if the axis O is sectioned by two planes perpendicular to the axis O and separated by a length equal to the pitch of a wire of one of the two layers C1 or C2, the axis of this wire (O_1 or O_2 , respectively) has in these two planes the same position on the two circles corresponding to the layer C1 or C2 of the wire in question.

In the cable according to the invention, a preferred embodiment consists in selecting the pitches p_1 and p_2 within a range from 5 to 15 mm, p_1 being included in particular within a range from 5 to 10 mm and p_2 being included within a range from 10 to 15 mm.

The following relationship is more preferably satisfied, in particular when the cable of the invention is devoid of an external wrapping wire:

$$6 < p_1 < p_2 < 14.$$

One particular advantageous embodiment then consists of selecting p_1 to be between 6 and 10 mm and p_2 to be between 10 and 14 mm.

In the cable according to the invention, all the wires of the layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist, that is to say either in the S direction ("S/S" arrangement) or in the Z direction ("Z/Z" arrangement). Such an arrangement of the layers C1 and C2 is somewhat contrary to the most conventional constructions of layered cables $[L+M+N]$, in particular those of construction $[3+9+15]$, which most frequently require crossing of the two layers C1 and C2 (or an "S/Z" or "Z/S" arrangement) so that the wires of layer C2 themselves wrap the wires of layer C1. Winding the layers C1 and C2 in the same direction advantageously makes it possible, in the cable according to the invention, to minimise the friction between these two layers C1 and C2 and therefore the wear of the wires constituting them.

In the cable of the invention, the ratios (d_0/d_1) must be set within given limits, according to the number M (4 or 5) of wires of the layer C1. Too low a value of this ratio is unfavourable to the wear between the core and the wires of layer C1. Too high a value adversely affects the compactness of the cable, for a level of resistance which is finally not greatly modified, and its flexibility; the increased rigidity of the core due to an excessively large diameter d_0 would furthermore be unfavourable to the feasibility itself of the cable during the cabling operations.

The wires of layers C1 and C2 may have a diameter which is identical or different from one layer to the other; advantageously, wires of the same diameter ($d_1=d_2$) can be used, in particular to simplify the cabling process and to reduce the costs, as shown, for example, in Figure 1.

The maximum number N_{\max} of wires which can be wound in a single saturated layer around the layer C1 is of course a function of numerous parameters (diameter d_0 of the core, number M and diameter d_1 of the wires of layer C1, diameter d_2 of the wires of layer C2). By way of example, if N_{\max} is equal to 12, N may then vary from 9 to 11 (for example constructions [1+M+9], [1+M+10] or [1+M+11]); if N_{\max} is for example equal to 11, N may then vary from 8 to 10 (for example constructions [1+M+8], [1+M+9] or [1+M+10]).

Preferably, the number N of wires in the layer C2 is less by 1 to 2 than the maximum number N_{\max} . This makes it possible, in the majority of cases, to form sufficient space between the wires for the rubber compositions to be able to infiltrate between the wires of layer C2 and to reach layer C1. Thus, the invention is preferably implemented with a cable selected from among cables of the structure [1+4+8], [1+4+9], [1+4+10], [1+5+9], [1+5+10] or [1+5+11].

By way of examples of cables according to the invention, mention will be made of cables having the following constructions and, in particular, among them, the preferred cables which satisfy at least one of the above relationships (vii) or (viii):

- [1+4+8] with $d_0 = 0.100$ mm and $d_1 = d_2 = 0.200$ mm;
- [1+4+8] with $d_0 = 0.120$ mm and $d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+4+9] with $d_0 = 0.120$ mm and $d_1 = d_2 = 0.200$ mm;
- [1+4+9] with $d_0 = 0.150$ mm and $d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+4+10] with $d_0 = 0.120$ mm and $d_1 = d_2 = 0.175$ mm;
- [1+4+10] with $d_0 = 0.150$ mm and $d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+5+9] with $d_0 = 0.150$ mm and $d_1 = d_2 = 0.175$ mm;
- [1+5+9] with $d_0 = 0.175$ mm and $d_1 = d_2 = 0.200$ mm;
- [1+5+10] with $d_0 = 0.150$ mm and $d_1 = d_2 = 0.175$ mm;
- [1+5+10] with $d_0 = d_1 = d_2 = 0.200$ mm;
- [1+5+11] with $d_0 = d_2 = 0.200$ mm; $d_1 = 0.225$ mm;
- [1+5+11] with $d_0 = 0.200$ mm and $d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+5+11] with $d_0 = d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+5+11] with $d_0 = 0.240$ mm and $d_1 = d_2 = 0.225$ mm;
- [1+5+11] with $d_0 = d_2 = 0.225$ mm; $d_1 = 0.260$ mm.

It will be noted that, in these cables, at least two layers out of three (C0, C1, C2) contain wires of diameters (respectively d_0 , d_1 , d_2) which are identical.

The invention is preferably implemented, in the carcass reinforcements of truck tires, with cables of structure [1+5+N], more preferably of structure [1+5+9], [1+5+10] or [1+5+11]. More preferably still, cables of structure [1+5+10] or [1+5+11] are used.

For such [1+5+N] cables, one advantageous embodiment of the invention consists in using wires of the same diameter for the core and at least one of the layers C1 and C2, or indeed for the two layers (in this case; $d_0 = d_1 = d_2$), as shown for example in Figure 1.

However, in order further to increase the ability of the cable to be penetrated by rubber, the wires of layer C1 may be selected to be of greater diameter than those of layer C2, for example in a ratio (d_1/d_2) which is preferably between 1.05 and 1.30.

- 5 For reasons of strength, industrial feasibility and cost, it is preferred for the diameter d_0 of the core to be between 0.14 and 0.28 mm.

Furthermore, for a better compromise between strength, feasibility and flexural strength of the cable on one hand and ability to be penetrated by the rubber compositions on the other hand, it is preferred that the diameters of the wires of layers C2 be between 0.15 and 0.25 mm.

- 10 For carcass reinforcements for truck tires, the diameter d_1 is preferably selected to be less than or equal to 0.26 mm and the diameter d_2 is preferably greater than 0.17 mm. A diameter d_1 less than or equal to 0.26 mm makes it possible to reduce the level of the stresses to which the wires are subjected upon major variations in curvature of the cables, whereas preferably diameters d_2 greater than 0.17 mm will be selected for reasons in particular of strength of the wires and of industrial cost; when d_1 and d_2 are selected within these preferred intervals, the diameter d_0 of the core is then more preferably between 0.14 and 0.25 mm.

- 20 The invention may be implemented with any type of steel wires, for example carbon steel wires and/or stainless steel wires as described, for example, in the above applications EP-A-0 648 891 or WO98/41682. Preferably a carbon steel is used, but it is of course possible to use other steels or other alloys.

- 25 When a carbon steel is used, its carbon content (% by weight of steel) is preferably between 0.50% and 1.0%, more preferably between 0.68% and 0.95%; these contents represent a good compromise between the mechanical properties required for the tire and the feasibility of the wire. It should be noted that, in applications in which the highest mechanical strengths are not necessary, advantageously carbon steels may be used, the carbon content of which is between 0.50% and 0.68%, and in particular varies from 0.55% to 0.60%, such steels ultimately being less costly because they are easier to draw. Another advantageous embodiment of the invention may also consist, depending on the intended applications, of using steels having a low carbon content of for example between 0.2% and 0.5%, owing in particular to lower costs and greater ease of drawing.

- 35 When the cables of the invention are used to reinforce carcass reinforcements for tires for industrial vehicles, their wires preferably have a tensile strength greater than 2000 MPa, more preferably greater than 3000 MPa. In the case of tires of very large dimensions, in particular wires having a tensile strength of between 3000 MPa and 4000 MPa will be selected. The person skilled in the art will know how to manufacture, for example, carbon steel wires having such strength, by adjusting in particular the carbon content of the steel and the final work-hardening ratios (ϵ) of these wires.

- 40 The cable of the invention may comprise an external wrap, formed for example of a single wire, whether or not of metal, wound in a helix about the cable at a pitch shorter than that of the outer layer, and a direction of winding opposite or identical to that of this outer layer.

However, owing to its specific structure, the cable of the invention, which is already self-wrapped, does not generally require the use of an external wrapping wire, which advantageously solves the problems of wear between the wrap and the wires of the outermost layer of the cable.

However, if a wrapping wire is used, in the general case in which the wires of layer C2 are made of carbon steel, advantageously a wrapping wire of stainless steel may then be selected in order to reduce the wear by fretting of these carbon steel wires in contact with the stainless steel wrap, as taught by Application WO98/41682 referred to above, the stainless steel wire possibly being replaced in equivalent manner by a composite wire, only the skin of which is of stainless steel and the core of which is of carbon steel, as described for example in Patent Application EP-A-0 976 541.

II-2. Fabric and tire of the invention

The invention also relates to tires intended for industrial vehicles, more particularly truck tires and to the rubberised fabrics usable as carcass reinforcement plies for these truck tires.

By way of example, Figure 3 shows diagrammatically a radial section through a truck tire 1 having a radial carcass reinforcement which may or may not be in accordance with the invention, in this general representation. This tire 1 comprises a crown 2, two sidewalls 3 and two beads 4, each of these beads 4 being reinforced with a bead wire 5. The crown 2, which is surmounted by a tread (not shown in this diagram) is in known manner reinforced by a crown reinforcement 6 formed for example of at least two superposed crossed plies, which are reinforced by known metal cables. A carcass reinforcement 7 is wound around the two bead wires 5 within each bead 4, the upturn 8 of this reinforcement 7 being for example arranged towards the outside of the tire 1, which is shown here mounted on its rim 9. The carcass reinforcement 7 is formed of at least one ply reinforced by so-called "radial" cables, that is to say that these cables are arranged practically parallel to each other and extend from one bead to the other so as to form an angle of between 80° and 90° with the median circumferential plane (plane perpendicular to the axis of rotation of the tire which is located halfway between the two beads 4 and passes through the center of the crown reinforcement 6).

The tire according to the invention is characterised in that its carcass reinforcement 7 comprises at least one carcass ply, the radial cables of which are multi-layer steel cables according to the invention.

In this carcass ply, the density of the cables according to the invention is preferably between 40 and 100 cables per dm (decimeter) of radial ply, more preferably between 50 and 80 cables per dm, the distance between two adjacent radial cables, from axis to axis, thus being preferably between 1.0 and 2.5 mm, more preferably between 1.25 and 2.0 mm. The cables according to the invention are preferably arranged such that the width (" ℓ ") of the rubber bridge, between two adjacent cables, is between 0.35 and 1 mm. This width ℓ in known manner represents the difference between the calendering pitch (laying pitch of the cable in the rubber fabric) and the diameter of the cable. Below the minimum value indicated, the

rubber bridge, which is too narrow, risks mechanically degrading during working of the ply, in particular during the deformation which it experiences in its own plane by extension or shearing. Beyond the maximum indicated, there are risks of flaws in appearance occurring on the sidewalls of the tires or of penetration of objects, by perforation, between the cables. More preferably, for these same reasons, the width " ℓ " is selected between 0.4 and 0.8 mm.

The values advocated above, of density of the cables, distance between adjacent cables and of width " ℓ " of the rubber bridge are those measured both on the fabric as such in the uncured state (i.e. before incorporation in the tire) and in the tire itself, in this latter case measured beneath the bead wire of the tire.

Preferably, the rubber composition used for the fabric of the carcass ply has, when vulcanized, (i.e. after curing) a secant tensile modulus M10 which is less than 8 MPa, more preferably between 4 and 8 MPa. It is within such a range of moduli that the best compromise of endurance between the cables of the invention on one hand and the fabrics reinforced by these cables on the other hand has been recorded.

By way of example, for manufacturing the tires of the invention, the procedure is as follows. The above layered cables are incorporated by calendering on a rubberised fabric formed of a known composition based on natural rubber and carbon black as reinforcing filler, which is conventionally used for manufacturing carcass reinforcement plies for radial truck tires. The tires are then manufactured in known manner, and are such as shown diagrammatically in Figure 3, which has already been commented on. Their radial carcass reinforcement 7 is, by way of example, formed of a single radial ply formed of the rubberised fabric above, the radial cables of the invention being arranged at an angle of about 90° with the median circumferential plane. The crown reinforcement 6 thereof is in known manner formed of two crossed superposed working plies, reinforced with metal cables inclined by 22 degrees, these two working plies being covered by a protective crown ply reinforced by "elastic" metal cables (i.e. cables of high elongation). In each of these crown reinforcement plies, the metal cables used are known conventional cables, which are arranged substantially parallel to each other, and the angles of inclination indicated are measured relative to the median circumferential plane.

III. EXAMPLES OF EMBODIMENT OF THE INVENTION

III-1. Nature and properties of the wires used

To produce the examples of cables whether or not in accordance with the invention, fine carbon steel wires are used which are prepared in accordance with known methods such as are described, for example, in applications EP-A-0 648 891 or WO98/41682 mentioned above, starting from commercial wires, the initial diameter of which is approximately 1 mm. The steel used is a known carbon steel (USA Standard AISI 1069), the carbon content of which is approx. 0.7%, comprising approximately 0.5% manganese and 0.2% silicon, the remainder being formed of iron and the usual inevitable impurities linked to the manufacturing process for the steel.

The commercial starting wires first undergo known a degreasing and/or pickling treatment before their later working. At this stage, their tensile strength is equal to about 1150 MPa, and their elongation at break is approximately 10%. Then copper is deposited on each wire, followed by a deposit of zinc, electrolytically at ambient temperature, and then the wire is heated thermally by Joule effect to 540°C to obtain brass by diffusion of the copper and zinc, the weight ratio (phase α) / (phase α + phase β) being equal to approximately 0.85. No heat treatment is performed on the wire once the brass coating has been obtained.

Then so-called "final" work-hardening is effected on each wire (i.e. implemented after the final heat treatment), by cold-drawing in a wet medium with a drawing lubricant which is in the form of an emulsion in water. This wet drawing is effected in known manner in order to obtain the final work-hardening ratio (ϵ), calculated from the initial diameter indicated above for the commercial starting wires.

By definition, the ratio of a work-hardening operation, ϵ , is given by the formula $\epsilon = \ln (S_i / S_f)$, in which \ln is the Napierian logarithm, S_i represents the initial section of the wire before this work-hardening and S_f the final section of the wire after this work-hardening.

By adjusting the final work-hardening ratio, thus two groups of wires of different diameters are prepared, a first group of wires of average diameter ϕ equal to approximately 0.200 mm ($\epsilon = 3.2$) for the wires of index 1 (wires marked F1) and a second group of wires of average diameter ϕ equal to approximately 0.175 mm ($\epsilon = 3.5$) for the wires of index 2 (wires marked F2).

The steel wires thus drawn have the mechanical properties indicated in Table 1.

Table 1

Wires	ϕ (mm)	F _m (N)	At (%)	R _m (MPa)
F1	0.200	82	1.8	2720
F2	0.175	62	2.1	2860

The elongation At shown for the wires is the total elongation recorded upon breaking of the wire, that is to say integrating both the elastic portion of the elongation (Hooke's Law) and the plastic portion of the elongation.

The brass coating which surrounds the wires is of very low thickness, significantly less than one micrometer, for example of the order of 0.15 to 0.30 μm , which is negligible compared with the diameter of the steel wires. Of course, the composition of the steel of the wire in its different elements (for example C, Mn, Si) is the same as that of the steel of the starting wire.

It will be recalled that during the process of manufacturing the wires, the brass coating facilitates the drawing of the wire, as well as the gluing of the wire to the rubber. Of course, the wires could be covered with a fine metal layer other than brass, having for example the function of improving the corrosion resistance of these wires and/or the adhesion thereof to

the rubber, for example a fine layer of Co, Ni, Zn, Al, or of an alloy of two or more of the compounds Cu, Zn, Al, Ni, Co, Sn.

III-2. Production of the cables

5 The above wires are then assembled in the form of layered cables of structure [1+5+10] for the cable according to the invention (cable C-I), of structure [1+6+12] for the cable of the prior art (cable C-II); the wires F1 are used to form the core C0 of these cables C-I and C-II, as well as the layers C1 and C2 of the cable C-I according to the invention, while the wires F2
10 are used to form the layers C1 and C2 of the control cable C-II.

These cables are manufactured using cabling devices (Barmag cabler) and using processes well-known to the person skilled in the art which are not described here in order to simplify the description. The cable C-II is manufactured in a single cabling operation ($p_1 = p_2$),
15 whereas the cable C-I, owing to its different pitches p_1 and p_2 , requires two successive operations (manufacture of a [1+5] cable then cabling of the final layer around this [1+5] cable), these two operations possibly advantageously being effected in-line using two cablers arranged in series.

20 The cable C-I according to the invention has the following characteristics:

- structure [1+5+10]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0.200$;
- $(d_0 / d_1) = 1.00$;
- 25 - $p_1 = 8 (Z)$; $p_2 = 11 (Z)$.

The control cable C-II has the following characteristics:

- structure [1+6+12]
- 30 - $d_0 = 0.200$;
- $d_1 = d_2 = 0.175$;
- $(d_0 / d_1) = 1.14$;
- $p_1 = 10 (Z)$; $p_2 = 10 (Z)$.

35 Whatever the cables, the wires F2 of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist (Z direction).

The two cables tested are devoid of wrap and have a diameter of approximately 1.0 mm for cable C-I, and approximately 0.90 mm for cable C-II. The diameter d_0 of the core of these
40 cables is the same diameter as that of its single wire F1, which is practically devoid of torsion on itself.

The cable of the invention C-I is a cable having tubular layers as shown in cross-section in Figure 1, which has already been commented on. It is distinguished from the conventional
45 cables of the prior art in particular by the fact that its intermediate layer C1 and outer layer C2 comprise, respectively, one and two wires less than a conventional saturated cable, and that its

itches p_1 and p_2 are different, while furthermore satisfying the relationship (v) above. In this cable C-I, N is less by 2 than the maximum number (here $N_{\max} = 12$) of wires which can be wound in a single saturated layer around the layer C1.

- 5 The control cable C-II is a compact layered cable as shown in Figure 2. It can be seen in particular from this cross-section of Figure 2 that cable C-II, although of similar construction, owing to its method of cabling (wires wound in the same direction and pitches p_1 and p_2 being equal) has a far more compact structure than that of cable C-I; as a result, no tubular layer of wires is visible for this cable, the cross-section of this cable C-II having a contour E which is no longer circular but hexagonal.

It will be noted that the cable C-I of the invention ($M=5$) does satisfy the following characteristics:

- 15 - (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
- (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
- (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
- (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
20 - (v) $4.8 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.

This cable C-I furthermore satisfies each of the following preferred relationships:

- 25 - $d_2 > 0.17$;
- $d_1 \leq 0.26$;
- $0.14 < d_0 < 0.25$;
- $6 < p_1 < p_2 < 14$.

- 30 Furthermore, it satisfies each of the relationships (vii) and (viii) above.

The mechanical properties of cables C-I and C-II are set forth in Table 2 below:

Table 2

Cable	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
C-I	1250	2.6	2650
C-II	1255	2.8	2750

35

- The elongation At shown for the cable is the total elongation recorded upon breaking of the cable, that is to say integrating all of the following: the elastic portion of the elongation (Hooke's Law), the plastic portion of the elongation and the so-called structural portion of the elongation, which is inherent to the specific geometry of the cable tested.
- 40

III-3. Endurance tests (belt test)

The above layered cables are incorporated by calendering on a rubberised fabric formed of a known composition based on natural rubber and carbon black as reinforcing filler, which is conventionally used for manufacturing carcass reinforcement plies for radial truck tires (modulus M10 equal to approximately 6 MPa, after curing). This composition essentially comprises, in addition to the elastomer and the reinforcing filler, an antioxidant, stearic acid, an extender oil, cobalt naphthenate as adhesion promoter, and finally a vulcanization system (sulphur, accelerator, ZnO). In the rubber fabric, the cables are arranged parallel in known manner, at a cable density of the order of 63 cables per dm (decimeter) of ply, which, taking into account the diameter of the cables, is equivalent to a width " ℓ " of the rubber bridges, between two adjacent cables, of approximately 0.6 mm for the cable of the invention, and about 0.7 mm for the control cable,

The fabrics thus prepared are subjected to the belt test described in section I-3. After fatigue, decortication, that is to say extraction of the cables from the belts, is effected. The cables are then subjected to tensile tests, by measuring each time the residual breaking load (cable extracted from the belt after fatigue) of each type of wire, according to the position of the wire in the cable, and for each of the cables tested, and by comparing it to the initial breaking load (cables extracted from the new belts).

The average degenerations ΔF_m are given in % in Table 3; they are calculated both for the core wires (C0) and for the wires of layers C1 and C2. The overall degenerations ΔF_m are also measured on the cables themselves.

Table 3

Cable	ΔF_m (%)			
	C0	C1	C2	Cable
C-I	14	11	7	8
C-II	26	19	10	14

On reading Table 3, it will be noted that, whatever the zone of the cable which is analysed (core C0, layers C1 or C2), the best results are recorded on the cable C-I according to the invention. Although the degenerations ΔF_m remain fairly similar as far as the outer layer C2 is concerned (although less in the cable according to the invention), it will be noted that the farther one penetrates into the cable (layer C1 and core C0), the more the intervals become in favour of the cable according to the invention; the degenerations ΔF_m of the core and of the layer C1 are virtually twice as low in the cable of the invention. The overall degeneration of the cable of the invention is substantially less than that of the control cable (8% instead of 14%).

Correlatively to the above results, visual examination of the various wires shows that the phenomena of wear or fretting (erosion of material at the points of contact), which result from repeated friction of the wires on each other, are substantially reduced in the cable C-I

compared with the cable C-II.

These results are unexpected given that the person skilled in the art might expect, on the contrary, that the selection of different helix pitches p_1 and p_2 in the cable according to the invention, and hence the presence of different angles of contact between the layers C1 and C2 - the effect of which is to reduce the contact surfaces and hence to increase the contact pressures between the wires of layers C1 and C2 - would on the contrary result in an increase in the friction and hence the wear between the wires, and ultimately would adversely affect the cable according to the invention. Such is not the case.

III-4. Air permeability tests

The endurance results described previously appear to be well correlated to the amount of penetrability of the cables by the rubber, as explained hereafter.

The non-fatigued cables C-I and C-II (after extraction from the new belts) were subjected to the air permeability test described in section I-2, by measuring the amount of air passing through the cables in 1 minute (average of 10 measurements). The permeability indices Pa obtained are set forth in Table 4 (in relative units): the values indicated correspond to the average of 10 samples taken at different points on the belts, the base 100 being used for the control cables C-II.

Table 4

Cable	Average Pa
C-I	17
C-II	100

It will be noted that the cable according to the invention has an air permeability index Pa which is significantly lower (approximately factor of 5) than that of the control C-II, and hence a significantly higher amount of penetration by the rubber.

Its specific construction makes it possible, during the moulding and/or curing of the tires, for virtually complete migration of the rubber within the cable to occur, as far as the center of the latter, without forming empty channels. The cable, which is thus rendered impermeable by the rubber, is protected from the flows of oxygen and moisture which pass, for example, from the sidewalls or the tread of the tires towards the zones of the carcass reinforcement, where the cable, in known manner, is subjected to the most intense mechanical working.

III-5. Other cables and endurance tests (undulating traction test and belt test)

In this new series of tests, three layered cables are prepared, referenced C-III to C-V, of construction [1+5+10], these cables being or not being in accordance with the invention, in order to subject them to the undulating-traction fatigue test (section I-4).

These cables, prepared from the wires F1 described above, have the following characteristics.

• Cable C-III (according to the invention):

- structure [1+5+10]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0.200$;
- $(d_0 / d_1) = 1.00$;
- $p_1 = 8 \text{ (S)} ; p_2 = 11 \text{ (S)}$.

• Cable C-IV (control):

- structure [1+5+10]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0.200$;
- $(d_0 / d_1) = 1.00$;
- $p_1 = 5.5 \text{ (S)} ; p_2 = 11 \text{ (S)}$.

• Cable C-V (control):

- structure [1+5+10]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0.200$;
- $(d_0 / d_1) = 1.00$;
- $p_1 = 7.5 \text{ (S)} ; p_2 = 15 \text{ (S)}$.

Cable C-III has a construction similar to that of cable C-I previously tested.

Cables of structure [1+5+10] close or similar to that of the control cables C-IV or C-V above, which are characterised, inter alia, by a pitch p_2 which is double the pitch p_1 , are known to the person skilled in the art; they have been described, for example, in the applications EP-A-0 675 223 or EP-A-0 744 490 referred to above. These known cables do not satisfy all the characteristics (i) to (vi) of the cables of the invention, in particular the essential characteristic (v) relating to the offset between the pitches p_1 and p_2 .

None of the three cables tested comprises a wrap. Their properties are those set forth in Table 5 below:

Table 5

Cable	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
C-III	1234	2.4	2560
C-IV	1213	2.3	2530
C-V	1220	2.0	2545

These three cables therefore have constructions and mechanical properties at break which are very similar: in the three cases, N is less by 2 than the maximum number (here $N_{\max} = 12$) of wires which can be wound in a single saturated layer around the layer C1; they all have a tubular-layer construction as shown in Figure 1; the pitches p_1 and p_2 are different in each cable.

However, only cable C-III satisfies the above relationship (v), and the preferred characteristics of relationships (vii) and (viii).

In the undulating-traction fatigue test, these three cables yielded the results of Table 6; σ_d is expressed therein in MPa and in relative units (r.u.), the base 100 being used for the cable of the invention C-III.

Table 6

Cable	σ_d (MPa)	σ_d (r.u.)
C-III	655	100
C-IV	600	92
C-V	565	86

It will be noted that, despite very similar constructions, the cable of the invention C-III is distinguished by significantly greater fatigue strength than that of the control cables, in particular greater than that of the control cable C-IV, of which it should be noted that only the pitch p_1 differs (5.5 mm instead of 8 mm).

The three cables of this test were furthermore subjected to the belt test previously applied to cables C-I and C-II (section III-4). They all exhibited very good performance, which was close in terms of overall degeneration of the cable (ΔF_m of at most 10%). However, it is on the cable of the invention that the lowest average wear was recorded for the wires of the peripheral layer C2; this improved result should be emphasised because, in this type of cable, it is indeed the layer C2 which comprises the largest number of wires and therefore withstands most of the load.

In summary, the overall improved endurance of the cable of the invention C-III, compared with the control cables C-IV and C-V of very similar constructions, must be attributed here, first and foremost, to optimisation of the ratios of the helix angles (interval between the pitches p_1 and p_2) formed by the wires of layers C1 and C2. Due to this, there is obtained an even better compromise of results, with regard on one hand to the ability of the cable to be penetrated by the rubber and to the contact forces between the different layers.

III-6. Endurance in the tire

A running test is performed here on truck tires intended to be mounted on a flat-seat rim, of dimension 12.00 R 20 XZE.

All the tires tested are identical, with the exception of the layered cables which reinforce their carcass reinforcements 7 (see Figure 3).

The cables used for the carcass reinforcement 7 have the following characteristics:

- Cable C-VI (according to the invention - 17 wires + 1 wrapping wire):

- structure [1+5+11]
- $d_0 = d_2 = 0.230$;
- $d_1 = 0.260$;
- $(d_0 / d_1) = 0.88$;
- $p_1 = 7.5$ (S); $p_2 = 15$ (S).

- Cable C-VII (control - 27 wires + 1 wrapping wire):

- structure [3+9+15]
- $d_0 = d_1 = d_2 = 0.230$;
- $p_0 = 6.5$ (S); $p_1 = 12.5$ (S) ; $p_2 = 18.0$ (Z).

The cable of the invention C-VI is formed of a core wire of a diameter of 0.23 mm, surrounded by an intermediate layer of 5 wires wound together in a helix (S direction) at a pitch of 7.5 mm, this core in turn being surrounded by an outer layer of 11 wires which themselves are wound together in a helix (S direction) at a pitch of 15 mm. This cable C-VI is wrapped by a single wire of diameter 0.15 mm ($R_m = 2800$ MPa) wound in a helix (Z direction) at a pitch of 5 mm. In this cable according to the invention, N is less by 1 than the maximum number (here $N_{max} = 12$) of wires which can be wound in a single saturated layer around the layer C1. It satisfies relationship (v) without however satisfying the preferred relationships (vii) and (viii). In order further to increase its ability to be penetrated by rubber, the wires of layer C1 were selected to be of greater diameter than those of layer C2, in a preferred ratio (d_1/d_2) of between 1.10 and 1.20. The diameter of the cable (total bulk) is equal to about 1.49 mm.

With the exception of the wrapping wire (steel containing 0.7% carbon), all the wires of cable C-VI, referred to as F3 and F4 in Table 7 hereafter, were produced from a steel having a higher carbon content (0.82% instead of 0.71% for the control cable) in order to compensate in part for the reduction in the number of wires by increasing the strength of the steel.

Cable C-VII was selected as the control for this running test owing to its performance which is recognised by the person skilled in the art for reinforcement of truck tires of large dimensions. Cables of identical or similar structure have been described, for example, in the above applications EP-A-0 497 612, EP-A-0 669 421, EP-A-0 675 223, EP-A-0 709 236 or alternatively EP-A-0 779 390, to illustrate the prior art in this field. Cable C-VII is formed of 27 wires (referenced F5 in Table 7) of the same diameter 0.23 mm, with a core of 3 wires wound together in a helix (S direction) at a pitch of 6.5 mm, this core being surrounded by an intermediate layer of 9 wires which themselves are wound together in a helix (S direction) at a pitch of 12.5 mm, which in turn is surrounded by an outer layer of 15 wires which themselves are wound together in a helix (Z direction) at a pitch of 18.0 mm. This cable C-VII is wrapped by a single wire of diameter 0.15 mm ($R_m = 2800$ MPa) wound in a helix (S direction) at a pitch of 3.5 mm. Its diameter (total bulk) is equal to about 1.65 mm.

The wires F3, F4 and F5 are brass-coated wires, prepared in known manner as indicated above in section III-1 for the wires F1 and F2. The two cables tested and their constituent wires have the mechanical properties indicated in Table 7.

Table 7

Wire or cable	ϕ (mm)	Fm (N)	At (%)	Rm (MPa)
F3	0.23	125	1.8	3100
F4	0.26	165	1.8	3070
F5	0.23	115	1.8	2840
C-VI	1.49	2195	2.8	2830
C-VII	1.65	2870	2.7	2580

5 The carcass reinforcement 7 of the tires tested is formed of a single radial ply formed of the rubberised fabrics of the same type as those used previously for the belt test (section III-3 above): composition based on natural rubber and carbon black, having a modulus M10 of approximately 6 MPa.

10 The reinforcement 7 is reinforced either by cables according to the invention (C-VI); or by the control cables (C-VII). The fabric according to the invention comprises approximately 53 cables per dm of ply, which is equivalent to a distance between two adjacent radial cables, from axis to axis, of approximately 1.9 mm and to a width ℓ of the rubber bridge of about 0.41 mm. The control fabric comprises approximately 45 cables per dm of ply, which is equivalent to a distance between two adjacent radial cables, from axis to axis, of approximately 2.2 mm
15 and to a width ℓ of about 0.55 mm.

20 The mass of metal in the carcass reinforcement of the tire according to the invention is thus reduced by 23% relative to the control tire, which constitutes a very substantial reduction in weight. Correlatively, owing to the use of an "HR"-type steel (0.82% carbon) for the wires of the cable C-VI, the reduction in strength of the fabric according to the invention is only about 13%.

25 As for the crown reinforcement 6, it is in known manner formed of (i) two crossed superposed working plies, reinforced with metal cables inclined by 22 degrees, these two working plies being covered by (ii) a protective crown ply reinforced by elastic metal cables inclined at 22 degrees. In each of these crown reinforcement plies, the metal cables used are known conventional cables, which are arranged substantially parallel to each other, and all the angles of inclination indicated are measured relative to the median circumferential plane.

30 A series of two tires (referenced P-1) is reinforced by the cable C-VI, and another series of two tires (referenced P-2) is reinforced by the control cable C-VII. In each series, one tire is intended for running, and the other for decortication on a new tire. The tires P-1 therefore constitute the series in accordance with the invention, and tires P-2 the control series.

35 These tires are subjected to a stringent running test as described in section I-5, with a total of 150,000 km covered. The distance imposed on each type of tire is very great; it is equivalent to continuous running of a duration of approximately three months and to 50 million fatigue cycles.

Despite these very severe running conditions, the two tires tested run without damage until the end of the test, in particular without breaking of the cables of the carcass ply; this illustrates in particular for the person skilled in the art the high performance of the two types of tires, including the control tires.

After running, decortication is effected, that is to say extraction of the cables from the tires. The cables are then subjected to tensile tests, by measuring each time the initial breaking load (cable extracted from the new tire) and the residual breaking load (cable extracted from the tire after running) of each type of wire, according to the position of the wire in the cable, and for each of the cables tested. The average degeneration ΔF_m given in % in Table 8 is calculated both for the core wires (C0) and for the wires of layers C1 and C2. The overall degenerations ΔF_m are also measured on the cables themselves.

Table 8

Cable	ΔF_m (%)			
	C0	C1	C2	Cable
C-VI	7	11	18	15
C-VII	7	22	16	17

On reading Table 8, it will be noted that the carcass reinforcement of the tire according to the invention, although very substantially lightened, and the metal cables of the invention which reinforce it, although significantly smaller, have an overall endurance equivalent to that of the control solution, with furthermore another advantage of the invention lying in lesser wear (half less) of the wires of the layer C1; this lesser wear of the wires of layer C1 is probably due to the optimised construction of the cable of the invention, namely winding in the same direction (here S/S) of the layers C1 and C2, contrary to the crossed construction (S/Z) of the layers C1 and C2 of the control cable.

The non-fatigued cables C-VI and C-VII (after extraction from the new tires) were furthermore subjected to the air permeability test (section I-2). The results of Table 9 clearly emphasise, if it were needed, the superiority of the cable of the invention; the permeability indices P_a are expressed in relative units, the base 100 being unchanged relative to Table 4 above (base 100 for the control cable C-II).

Table 9

Cable	Average P_a
C-VI	1
C-VII	> 370

In conclusion, as clearly shown by the various tests above, the cables of the invention make it possible to reduce significantly the phenomena of fatigue-fretting-corrosion in the carcass reinforcements of tires, in particular truck tires, and thus to improve the longevity of these reinforcements and tires.

Thus, for an equivalent life, the invention makes it possible to reduce the size of the cables and thus to reduce the weight of these carcass reinforcements and these tires.

Of course, the invention is not limited to the examples of embodiment described above.

Thus, for example, the core C0 of the cables of the invention might be formed of a wire of non-circular section, for example, one which is plastically deformed, in particular a wire of substantially oval or polygonal section, for example triangular, square or alternatively rectangular; the core C0 might also consist in a preformed wire, whether or not of circular section, for example an undulating or corkscrewed wire, or one twisted into the shape of a helix or a zigzag. In such cases, it should of course be understood that the diameter d_0 of the core represents the diameter of the imaginary cylinder of revolution which surrounds the core wire (diameter of bulk), and not the diameter (or any other transverse size, if its section is not circular) of the core wire itself. The same would apply if the core C0 were formed not of a single wire as in the above examples, but of several wires assembled together, for example two wires arranged parallel to each other or alternatively twisted together, in a direction of twist which may or may not be identical to that of the intermediate layer C1.

For reasons of industrial feasibility, cost and overall performance, it is however preferred to implement the invention with a single conventional linear core wire, of circular section.

Furthermore, since the core wire is less stressed during the cabling operation than the other wires, bearing in mind its position in the cable, it is not necessary for this wire to use, for example, steel compositions which offer high ductility in torsion; advantageously, any type of steel could be used, for example a stainless steel, in order to result, for example, in a hybrid steel [1+5+10] or [1+5+11] cable such as described in the aforementioned application WO98/41682, comprising a stainless steel wire at the center and 15 or 16 carbon steel wires around it.

Of course (at least) one linear wire of one of the two layers C1 and/or C2 might also be replaced by a preformed or deformed wire, or more generally by a wire of section different from that of the other wires of diameter d_1 and/or d_2 , so as, for example, to improve still further the ability of the cable to be penetrated by the rubber or any other material, the diameter of bulk of this replacement wire possibly being less than, equal to or greater than the diameter (d_1 and/or d_2) of the other wires constituting the layer (C1 and/or C2) in question.

Without modifying the spirit of the invention, all or part of the wires constituting the cable according to the invention might be constituted of wires other than steel wires, whether metallic or not, in particular wires of inorganic or organic material of high mechanical strength, for example monofilaments of liquid-crystal organic polymers such as described in Application WO92/12018.

The invention also relates to any multi-strand steel cable ("*multi-strand rope*"), the structure of which incorporates, at least, as the elementary strand, a layered cable according to the invention.

CLAIMS

1. A multi-layer cable having a unsaturated outer layer, usable as a reinforcing element for a tire carcass reinforcement, comprising a core (C0) of diameter d_0 surrounded by an intermediate layer (C1) of four or five wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 wound together in a helix at a pitch p_1 , this layer C1 itself being surrounded by an outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 wound together in a helix at a pitch p_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in one layer about the layer C1, this cable having the following characteristics (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 and p_2 in mm):
 - (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
 - (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
 - (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
 - (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
 - (v) $4.8 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2)$;
 - (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.
2. A cable according to Claim 1, of construction $[1+M+N]$, the core of which is formed of a single wire.
3. A cable according to Claim 2, selected from the group consisting of cables of the constructions $[1+4+8]$, $[1+4+9]$, $[1+4+10]$, $[1+5+9]$, $[1+5+10]$ and $[1+5+11]$.
4. A cable according to Claim 2, of construction $[1+5+N]$.
5. A cable according to Claim 4, of construction $[1+5+10]$.
6. A cable according to Claim 1, characterised in that the pitches p_1 and p_2 are within a range from 5 to 15 mm.
7. A cable according to Claim 1, which satisfies the following relationship:
$$0.15 < d_2 < 0.25.$$
8. A cable according to Claim 7, which satisfies the following relationships:
 - $0.14 < d_0 < 0.25$;
 - $d_2 > 0.17$;
 - $d_1 \leq 0.26$.
9. A cable according to Claim 1, characterised in that it is a steel cable.
10. A cable according to Claim 9, characterised in that the steel is a carbon steel.

11. A cable according to Claim 1, which satisfies the relationship:

$$5.0 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.0 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2).$$

12. A cable according to Claim 11, which satisfies the relationship:

$$5.3 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4.7 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2).$$

13. A cable according to Claim 1, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.05 and 1.30.

14. A cable according to Claim 13, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.10 and 1.20.

15. A truck tire having a carcass reinforcement comprising a multi-layer cable having a unsaturated outer layer, comprising a core (C0) of diameter d_0 surrounded by an intermediate layer (C1) of four or five wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 wound together in a helix at a pitch p_1 , this layer C1 itself being surrounded by an outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 wound together in a helix at a pitch p_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in one layer about the layer C1, this cable having the following characteristics (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 and p_2 in mm):

- (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
- (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
- (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
- (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
- (v) $4.8 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.

16. A tire according to claim 15, wherein the multi-layer cable, of construction $[1+M+N]$, has a core formed by a single wire.

17. A tire according to claim 16, wherein the multi-layer cable is selected from among the group consisting of cables of the constructions $[1+4+8]$, $[1+4+9]$, $[1+4+10]$, $[1+5+9]$, $[1+5+10]$ and $[1+5+11]$.

18. A tire according to claim 16, wherein the multi-layer cable has a construction $[1+5+N]$.

19. A tire according to claim 18, wherein the multi-layer cable has a construction $[1+5+10]$.

20. A tire according to Claim 15, wherein the pitches p_1 and p_2 are within a range from 5 to 15 mm.

21. A tire according to Claim 15, wherein the following relationships are satisfied:
- $$0.15 < d_2 < 0.25.$$
22. A tire according to Claim 21, wherein the following relationships are satisfied:
- $0.14 < d_0 < 0.25$;
 - $d_2 > 0.17$;
 - $d_1 \leq 0.26$.
23. A tire according to Claim 15, characterised in that the multi-layer cable is a steel cable.
24. A tire according to Claim 23, characterised in that the steel is a carbon steel.
25. A tire according to Claim 15, wherein the following relationships are satisfied:
- $$5.0 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.0 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2).$$
26. A tire according to Claim 25, which satisfies the relationship:
- $$5.3 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4.7 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2).$$
27. A tire according to Claim 15, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.05 and 1.30.
28. A tire according to Claim 27, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.10 and 1.20.
29. A composite fabric usable as a carcass reinforcement ply for a truck tire, comprising a matrix of rubber composition reinforced by a multi-layer cable having a unsaturated outer layer, comprising a core (C0) of diameter d_0 surrounded by an intermediate layer (C1) of four or five wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 wound together in a helix at a pitch p_1 , this layer C1 itself being surrounded by an outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 wound together in a helix at a pitch p_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in one layer about the layer C1, this cable having the following characteristics (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 and p_2 in mm):
- (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
 - (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
 - (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
 - (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
 - (v) $4.8 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2)$;
 - (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.
30. A fabric according to Claim 29, wherein the multi-layer cable, of construction $[1+M+N]$, has a core formed by a single wire.

31. A fabric according to Claim 30, wherein the multi-layer cable is selected from the group consisting of cables of the constructions [1+4+8], [1+4+9], [1+4+10], [1+5+9], [1+5+10] and [1+5+11].
32. A fabric according to Claim 30, wherein the multi-layer cable has a construction [1+5+N].
33. A fabric according to Claim 32, wherein the multi-layer cable has a construction [1+5+10].
34. A fabric according to Claim 29, wherein the pitches p_1 and p_2 are within a range from 5 to 15 mm.
35. A fabric according to Claim 29, wherein the following relationships are satisfied:
- $$0.15 < d_2 < 0.25.$$
36. A fabric according to Claim 35, wherein the following relationships are satisfied:
- $0.14 < d_0 < 0.25$;
 - $d_2 > 0.17$;
 - $d_1 \leq 0.26$.
37. A fabric according to Claim 29, characterised in that the multi-layer cable is a steel cable.
38. A fabric according to Claim 37, characterised in that the steel is a carbon steel.
39. A fabric according to Claim 29, wherein the following relationships are satisfied:
- $$5.0 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.0 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2).$$
40. A fabric according to Claim 39, which satisfies the relationship:
- $$5.3 \pi (d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 4.7 \pi (d_0 + 2d_1 + d_2).$$
41. A fabric according to Claim 29, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.05 and 1.30.
42. A fabric according to Claim 41, in which the ratio (d_1/d_2) is between 1.10 and 1.20.
43. A fabric according to Claim 29, further comprising wherein its cable density is between 40 and 100 cables per dm of fabric.
44. A fabric according to Claim 43, the cable density being between 50 and 80 cables per dm of fabric.

45. A fabric according to Claim 29, further comprising wherein the width ℓ of the bridge of rubber composition, between two adjacent cables, is between 0.35 and 1 mm.
46. A fabric according to Claim 45, wherein the width ℓ of the bridge of rubber composition, between two adjacent cables, is between 0.4 and 0.8 mm.
47. A fabric according to Claim 29, further comprising wherein the rubber composition has, in the vulcanized state, a secant tensile modulus M10 which is less than 8 MPa.
48. A fabric according to Claim 47, wherein the rubber composition has, in the vulcanized state, a secant tensile modulus M10 which is between 4 and 8 MPa.
49. A fabric according to Claim 29, the rubber being natural rubber.
50. A truck tire having a carcass reinforcement comprising, as reinforcing ply, a composite fabric according to Claim 29.
51. A truck tire having a carcass reinforcement comprising, as reinforcing ply, a composite fabric according to Claims 30 or 31.
52. A truck tire having a carcass reinforcement comprising, as reinforcing ply, a composite fabric according to Claims 32 or 33.
53. The cable of claim 1, further comprising wherein the core is comprised of L wires, wherein L is equal to or greater than 2.

P10-1177

Title: MULTI-LAYER CABLE FOR TIRE CARCASS

Companies called: - SOCIETE DE TECHNOLOGIE MICHELIN, and
- MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE.

ABSTRACT

A multi-layer cable having an unsaturated outer layer, usable as a reinforcing element for a tire carcass reinforcement, comprising a core of diameter d_0 surrounded by an intermediate layer (C1) of four or five wires ($M = 4$ or 5) of diameter d_1 wound together in a helix at a pitch p_1 , this layer C1 itself being surrounded by an outer layer (C2) of N wires of diameter d_2 wound together in a helix at a pitch p_2 , N being less by 1 to 3 than the maximum number N_{\max} of wires which can be wound in one layer about the layer C1, this cable having the following characteristics (d_0 , d_1 , d_2 , p_1 and p_2 in mm):

- (i) $0.08 < d_0 < 0.28$;
- (ii) $0.15 < d_1 < 0.28$;
- (iii) $0.12 < d_2 < 0.25$;
- (iv) for $M = 4$: $0.40 < (d_0 / d_1) < 0.80$;
for $M = 5$: $0.70 < (d_0 / d_1) < 1.10$;
- (v) $4.8 \pi(d_0 + d_1) < p_1 < p_2 < 5.6 \pi(d_0 + 2d_1 + d_2)$;
- (vi) the wires of layers C1 and C2 are wound in the same direction of twist.

The invention furthermore relates to the articles or semi-finished products made of plastics material and/or rubber which are reinforced by such a multi-layer cable, in particular to tires intended for industrial vehicles, more particularly truck tires and their carcass reinforcement plies.

1/2

Fig. 1

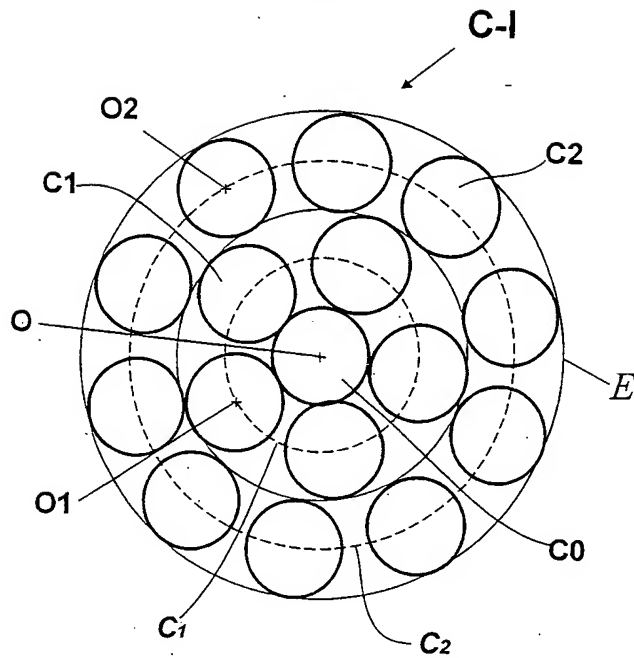
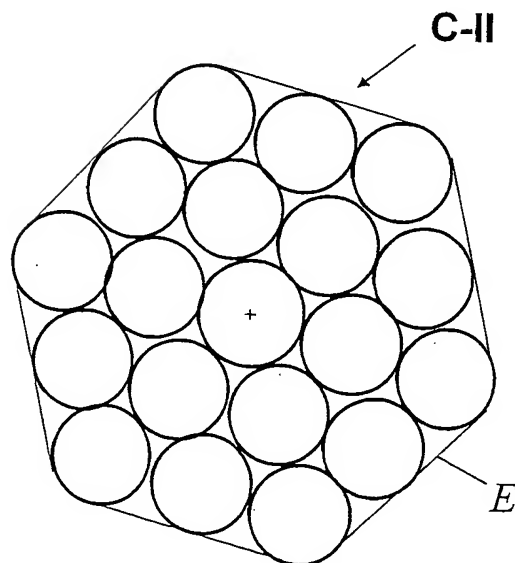


Fig. 2



2/2

Fig. 3

